



Next Generation Railway System III (NGRS III)

Projekt des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Zusammenfassungen der Projektergebnisse

Autoren: Scheier B., Meirich C., Naumann A., Schwencke D., Groos J.,
Knake-Langhorst S., Jipp M., Jäger B.



1. Einleitung	3
2. Projektziele und Projektstruktur	3
2.1. Projektziele	3
2.2. Projektstruktur	4
3. Meilensteinübersicht	6
4. Projektergebnisse – Zusammenfassung der Meilensteinergebnisse	7
4.1. TP1000 – Operational Quality and Services	7
4.2. TP2000 – New Technology ETCS 4.0	12
4.3. TP3000 – Cognitive Ergonomics	15
4.4. TP4000 – Certifiable Automated Verification	22
4.5. TP5000 – Prognostics and Health Management	25
5. Dissemination	28
5.1. Publikationen	28
5.2. Internetauftritt	35
6. Kontakt	36
Abkürzungsverzeichnis	37
Abbildungsverzeichnis	38
Tabellenverzeichnis	38

1. Einleitung

Das Projekt Next Generation Railway System (NGRS) III wurde in den Jahren 2016 bis einschließlich 2018 am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik bearbeitet. Es stellte in diesem Zeitraum das institutionell geförderte Projekt für Forschung zur Eisenbahninfrastruktur, -betrieb und des Gesamtsystems Eisenbahn am DLR dar. Dadurch konnten zahlreiche Themen grundlegend erforscht und vertieft sowie eine Fortführung und Anwendung in Drittmittelprojekten erreicht werden. Der vorliegende Bericht dient der Zusammenstellung der wichtigsten Meilensteinergebnisse.

2. Projektziele und Projektstruktur

2.1. Projektziele

Das Projekt liefert einen signifikanten wissenschaftlichen Beitrag zu dem Erreichen folgender Ziele, die sich auch im Helmholtz-Programm Verkehr wiederfinden:

- Leistungsfähiges und wirtschaftliches System Eisenbahn
 - durch effizientere Infrastruktur
 - optimal dimensionierte Infrastruktur
 - optimierte Instandhaltung
 - Nutzung von neuen Technologien für das System Bahn
 - durch Erhöhung der Effizienz von Test- und somit Zulassungsprozessen
- Hohe Betriebsqualität und Resilienz des Systems Eisenbahn
 - durch die Einführung neuer Qualitätskenngrößen (Berücksichtigung der Kundensicht)
 - Analyse von Resilienzkriterien und Untersuchungen zur Resilienz des Schienennetzes
- Gewährleistung und Steigerung der Sicherheit des Systems Eisenbahn
- Umweltverträgliches System Eisenbahn

Um diese Ziele erreichen zu können bzw. einen signifikanten wissenschaftlichen Beitrag zum Erreichen der Ziele beisteuern zu können, wurde im vorliegenden Projekt an folgenden Themen gearbeitet:

- Weiterentwicklung des DLR-Tools zur integrierten Bewertung (Railonomics®)
- Identifikation und Definition von Kennzahlen zur Messung und Bewertung der Betriebsqualität
- Beschreibung der Einflussfaktoren auf die Resilienz des Verkehrssystems Eisenbahn
- Entwicklung technologischer Zukunftsszenarien für die Bahn von Morgen
- Definition eines Technologiebaukastens „ETCS 4.0“
- Erhöhung des Situationsbewusstseins am Fahrdienstleiter- und Triebfahrzeugführerarbeitsplatz
- Systemtests und Testfallableitung aus geeigneten entwickelten Modellen der Leit- und Sicherungstechnik (LST)
- Zustandsdiagnose und –prognose zur optimierten Instandhaltung entscheidender Infrastrukturelemente

Eine Zuordnung der Themen und deren erreichten Ergebnissen zu den Zielen ist der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 1: Zuordnung der Ergebnisse zu den Zielen (Quelle: DLR)

NGRS III									
Ergebnisse		Railonomics	Kennzahlen Betriebsqualität	Einflussfaktoren Resilienz	technologische Zukunftsszenarien	Technologiebaukasten ETCS 4.0	Situationsbewusstsein Fdl und Tf	modellbasiertes Testen	Zustandsdiagnose und -prognose
Ziele									
Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit	optimal dimensionierte Infrastruktur	x							
	optimierte Instandhaltung				x	x			x
	Nutzung neuer Technologien				x	x			
	effiziente Zulassungsprozesse							x	
Qualität und Resilienz	Betriebsqualität	x	x				x		x
	Steigerung Resilienz		x	x			x		
Gewährleistung und Steigerung der Sicherheit					x	x	x		
Umweltverträglichkeit		x			x	x			

2.2. Projektstruktur

Die Arbeiten des Projekts Next Generation Railway System III untergliedern sich in die folgenden Teilprojekte (TP) und Arbeitspakete (AP):

TP 1000 – Operational Quality and Services

AP 1100: Tool zur integrierten Bewertung von Schieneninfrastrukturmaßnahmen und Ausrüstungsvarianten

AP 1200: Kennzahlen der Betriebsqualität

AP 1300: Einflussfaktoren auf die Resilienz eines Verkehrssystems

TP 2000 – New Technology ETCS 4.0

AP 2100: Entwicklung von Zukunftsszenarien für die Bahn von morgen

AP 2200: Technologie-Recherche

AP 2300: Definition des Technologiebaukastens „ETCS 4.0“

AP 2400: Demonstration

TP 3000 – Cognitive Ergonomics

AP 3100: Toolbox zur Erhebung von Situation Awareness

AP 3200: Situation Awareness und Störungsmanagement am Leitstellenarbeitsplatz

AP 3300: Situation Awareness beim Triebfahrzeugführer

TP 4000 – Certifiable Automated Verification

AP 4100: Modellierungsmethodik für LST-Systeme

AP 4200: Automatisierte Testableitung für LST-Systeme

AP 4300: Railway System Verification

TP 5000 – Prognostics and Health Management

AP 5100: Unsicherheiten bei der Detektion fehlerhafter Zustände

AP 5200: Diagnose fehlerhafter Zustände

AP 5300: Grundlagen für die Prognose fehlerhafter Zustände

AP 5400: Datenmanagement

TP 6000 – Dissemination

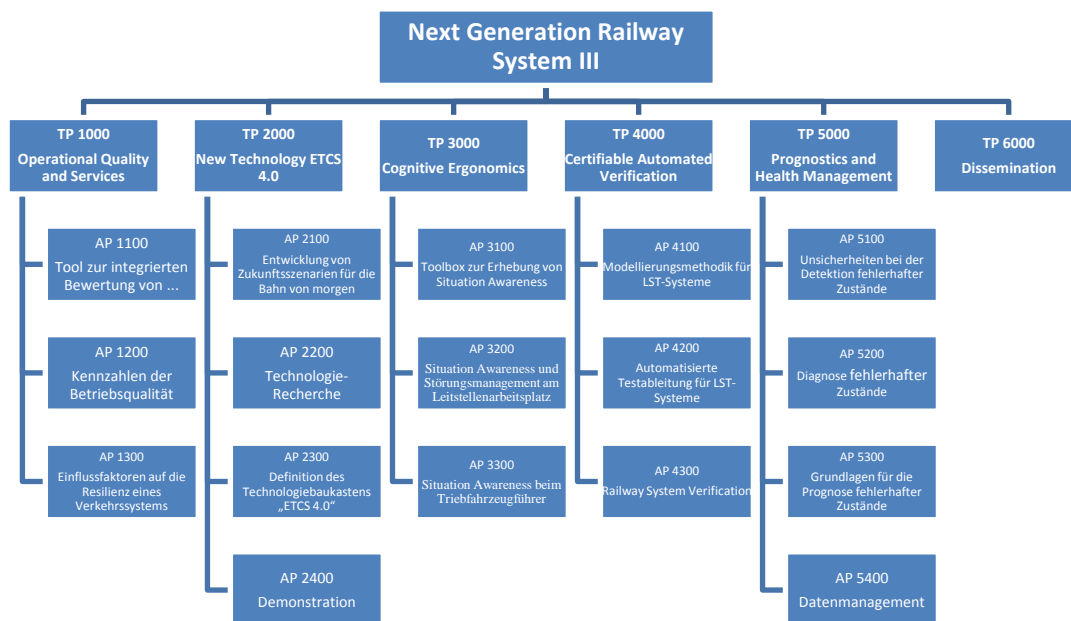


Abbildung 1: Projektstruktur (Teilprojekte und Arbeitspakete) (Quelle: DLR)

3. Meilensteinübersicht

Tabelle 2 listet die Meilensteine des Projektes auf:

Tabelle 2: Meilensteinübersicht (Quelle: DLR)

Meilenstein	Datum
<i>TP 1000: Operational Quality and Services</i>	
MS 11.1 Tool zur erweiterten, integrierten Bewertung von Infrastrukturmaßnahmen und betrieblichen Maßnahmen im Schienenverkehr ist umgesetzt	Q4 2016
MS 12.1 Geeignete Kennzahlen (KPIs) zur Messung und Bewertung der Betriebsqualität sind definiert	Q2 2018
MS 13.1 Einflussfaktoren auf die Resilienz des Schienenverkehrs sind beschrieben	Q4 2018
<i>TP 2000: New Technology ETCS 4.0</i>	
MS 21.1 Technologische Anforderungen aus den Evolutions-Zukunftsszenarien	Q2 2016
MS 22.1 Gewichtung ist erfolgt und Bericht ist erstellt	Q4 2016
MS 23.1 Technologie-Konzepts und Konzept der Interaktion der technologischen Bausteine ist definiert	Q4 2017
MS 24.1 Konzept und Ergebnis Demo ausgewählter Szenarien, sowie Auswirkungen auf KPI sind ausgewertet	Q4 2018
<i>TP 3000: Cognitive Ergonomics</i>	
MS 31.1 Toolbox für die Erhebung von Situation Awareness ist erstellt.	Q2 2016
MS 32.1 Maßnahmen zur Erhöhung der SA und Gestaltungsempfehlungen für den Leitstellenarbeitsplatz sind erstellt	Q3 2017
MS 32.2 Prototyp für den adaptiven Leitstellenarbeitsplatz ist fertiggestellt	Q4 2018
MS 33.1 Prototyp für eine Tf-Assistenz zur adäquaten Informationsintegration ist erstellt	Q4 2017
MS 33.2 Konzepte der Tf-Arbeitsplatzgestaltung für den hochautomatisierten Bahnverkehr sind erstellt	Q4 2017
MS 33.3 Prototyp für die Tf-Assistenz zur Erhöhung der SA und adäquaten Informationsintegration ist evaluiert und finalisiert	Q4 2018
<i>TP 4000: Certifiable Automated Verification</i>	
MS 41.1 Beispielmodelle eines LST-Systems für automatisierte Testableitung und für Systemtest sind erstellt	Q4 2016
MS 41.2 Modellierungsmethodik für generische Systeme ist definiert	Q4 2017
MS 42.1 Testfälle sind aus dem Modell eines generischen LST-Systems abgeleitet und die Reichweite von MBT ist beurteilt.	Q4 2018
MS 43.1 Systemtest ist demonstriert	Q4 2017
MS 43.2 Systemtest ist durchgeführt	Q4 2018
<i>TP 5000: Prognostics and Health Management</i>	
MS 51.1 Hybrider Ansatz aus daten- und modellgetriebener Zustandsbeurteilung ist identifiziert und beschrieben	Q2 2017
MS 52.1 Diagnosemodell für Störungen einer LST-Komponente ist erstellt	Q1 2018
MS 53.1 Verfahren für Zustandsprognose für eine der LST-Komponenten ist entwickelt	Q4 2018
MS 54.1 Standardisierte Schnittstelle zum Empfang von großen Messdatenmengen sowie standardisierte Datenablagestruktur sind implementiert	Q2 2016

4. Projektergebnisse – Zusammenfassung der Meilensteinergebnisse

Aufgrund des Umfangs der Meilensteindokumentationen werden in diesem Abschlussbericht die Zusammenfassungen der Meilensteinergebnisse aufgeführt. Der Programmdirektion Verkehr des DLR liegen die vollumfänglichen Meilensteinberichte vor.

4.1. TP1000 – Operational Quality and Services

4.1.1. MS 11.1 Tool zur erweiterten, integrierten Bewertung von Infrastrukturmaßnahmen und betrieblichen Maßnahmen im Schienenverkehr ist umgesetzt

Ziel des Meilensteins ist die Umsetzung eines Tools zu integrierter Bewertung von Schieneninfrastrukturmaßnahmen.

Das Tool ermöglicht die vergleichende Bewertung mehrerer Schieneninfrastrukturvarianten. Es sollen möglichst viele Stakeholder der Maßnahme in der Bewertung berücksichtigt werden, von den Betreibern der Infrastruktur und der Fahrzeugen bis zu den Anwohnern, die von Lärmwirkung betroffen sind. Aktuell sind fünf Stakeholder und neun Bewertungskriterien berücksichtigt. Da das Tool auf Excel und der Skriptsprache Visual Basics for Applications basiert, ist eine projektspezifische Anpassung auch ohne umfangreiche Programmierkenntnisse möglich.

Forschungsgegenstand des Meilensteins war, eine Ergebnisdarstellungsform zu identifizieren, die potentiellen Entscheidern eine Entscheidung auf Grundlage aller Bewertungskriterien der Stakeholder erlaubt, ohne dass ein aggregiertes Bewertungsergebnis ermittelt werden muss. Problem einer Aggregation ist, dass die Stakeholder mit ihren Bewertungskriterien gewichtet werden müssten und dies objektiv nicht durchführbar ist. Für das Tool wurde eine Lösung gefunden, für jeden Stakeholder die Kriterien sowohl für den Nullfall als auch den Planfall nachvollziehbar darzustellen (siehe folgende Abbildung).

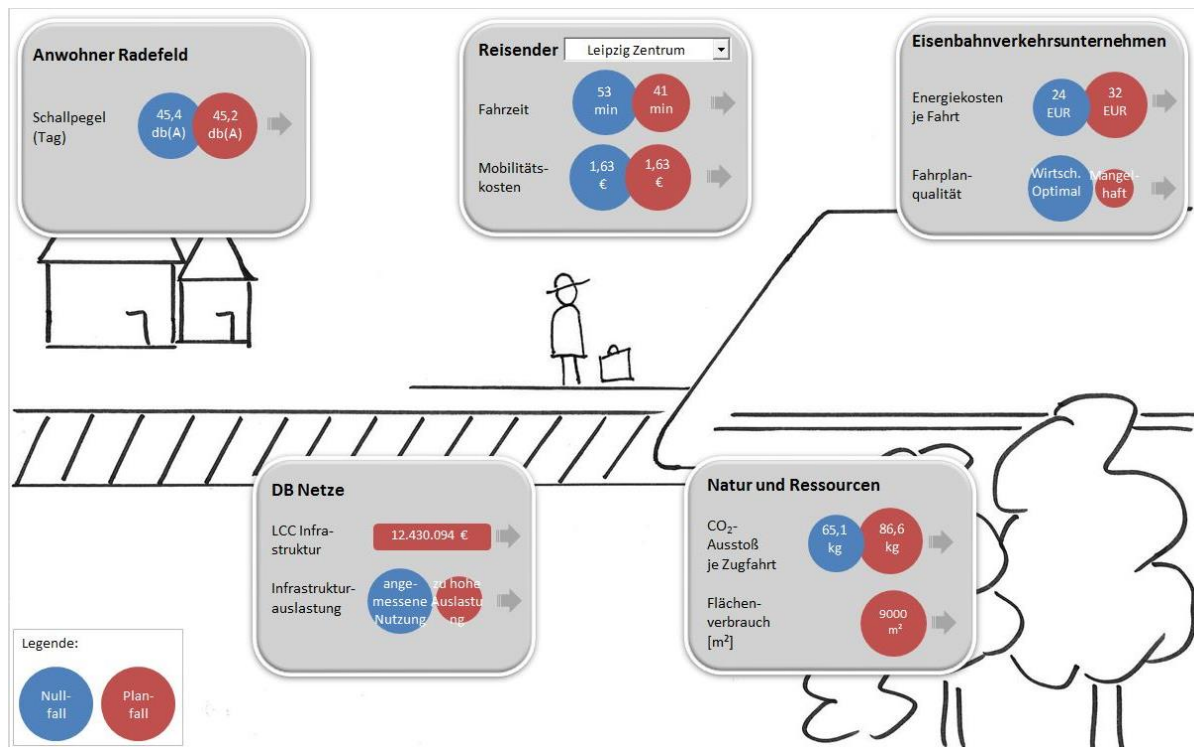


Abbildung 2: Darstellung der bewerteten Varianten im DLR-Tool Railonomics®-Infra (Quelle: DLR)

4.1.2. MS 12.1 „Geeignete Kennzahlen (Key-Performance-Indicator = KPI) zur Messung und Bewertung der Betriebsqualität sind definiert“

Es wurden verschiedene Kennzahlen definiert und in einem Simulationsmodell zur Bewertung von Fahrplänen und Dispositionsmaßnahmen implementiert. Für das DLR strategisch interessant ist die Tatsache, dass für das Simulationsmodell die DLR open source Software SUMO verwendet wurde. Somit konnte die Weiterentwicklung von SUMO auch als Simulationstool für das Verkehrssystem Eisenbahn weiter vorangebracht werden. SUMO hat als Alleinstellungsmerkmal, dass mikroskopische Verkehrsflusssimulationen über verschiedene Verkehrsträger durchführbar sind und somit die Simulation intermodaler Reiseketten ermöglicht wird. Das im Rahmen dieses MS erstellte Simulationsmodell und die damit verbundene SUMO-Weiterentwicklung wird Weiterverwendung finden, z.B. im folgenden Meilenstein 13.1 und in aktuell laufenden DLR-Projekten.

Die Meilensteininhalte wurden maßgeblich im Rahmen der Bachelorarbeit mit dem Titel „Entwicklung eines Simulationsmodells zur Bewertung der Betriebsqualität - Key Performance Indicators aus Sicht der Reisenden“¹ erarbeitet:

Das Ziel der Bachelorarbeit war es, anhand des DLR open source Simulationsprogramms SUMO ein Modell zur Bewertung der Betriebsqualität aus der Sicht der Reisenden zu entwickeln, mit dem unterschiedliche Szenarien (mit und ohne Störungen) simuliert werden können. Dazu wurden zunächst theoretische Grundlagen zur Betriebsqualität und Eisenbahnbetriebssimulation recherchiert und definiert. Im Anschluss

¹ Vgl. Hauck, Roman (2018) [Entwicklung eines Simulationsmodells zur Bewertung der Betriebsqualität - Key Performance Indicators aus Sicht der Reisenden](#). Bachelorarbeit, Ostfalia - Hochschule für angewandte Wissenschaften.

an den Grundlagenteil wurde das Netz, die Reiseketten, die Störungen und die Key Performance Indicator (KPI), die es zu untersuchen galt, definiert und in SUMO modelliert. Es konnte sowohl ein störungsfreier Betrieb als auch gestörter Betrieb simuliert werden. Die Ergebnisse eines „Nullfalls“ und die der Störungsszenarien konnten im Anschluss ausgewertet und miteinander verglichen werden.

Die Ergebnisse der Simulationen ergaben erwartungsgemäß, dass zugbasierte Verspätungskennzahlen niedriger ausfallen als die Verspätungskennzahlen der Reiseketten der Reisenden, wenn Anschlusszüge verpasst werden. SUMO erfüllt somit als Modell zur Untersuchung von Störungen auf die Fahrplankonstruktion und ad-hoc Disposition im Eisenbahnbetrieb eine essentielle Anforderung. Da SUMO verschiedene Verkehrsträger simulieren kann und somit einen intermodalen Verkehr ermöglicht, bietet es sich zukünftig an weitere Untersuchungen für intermodale Reiseketten durchzuführen. Dadurch können weitere Verspätungskennzahlen der Kunden (z.B. Verspätung am Zielort) untersucht werden, die für ein optimales intermodales Angebotskonzept genutzt werden können.

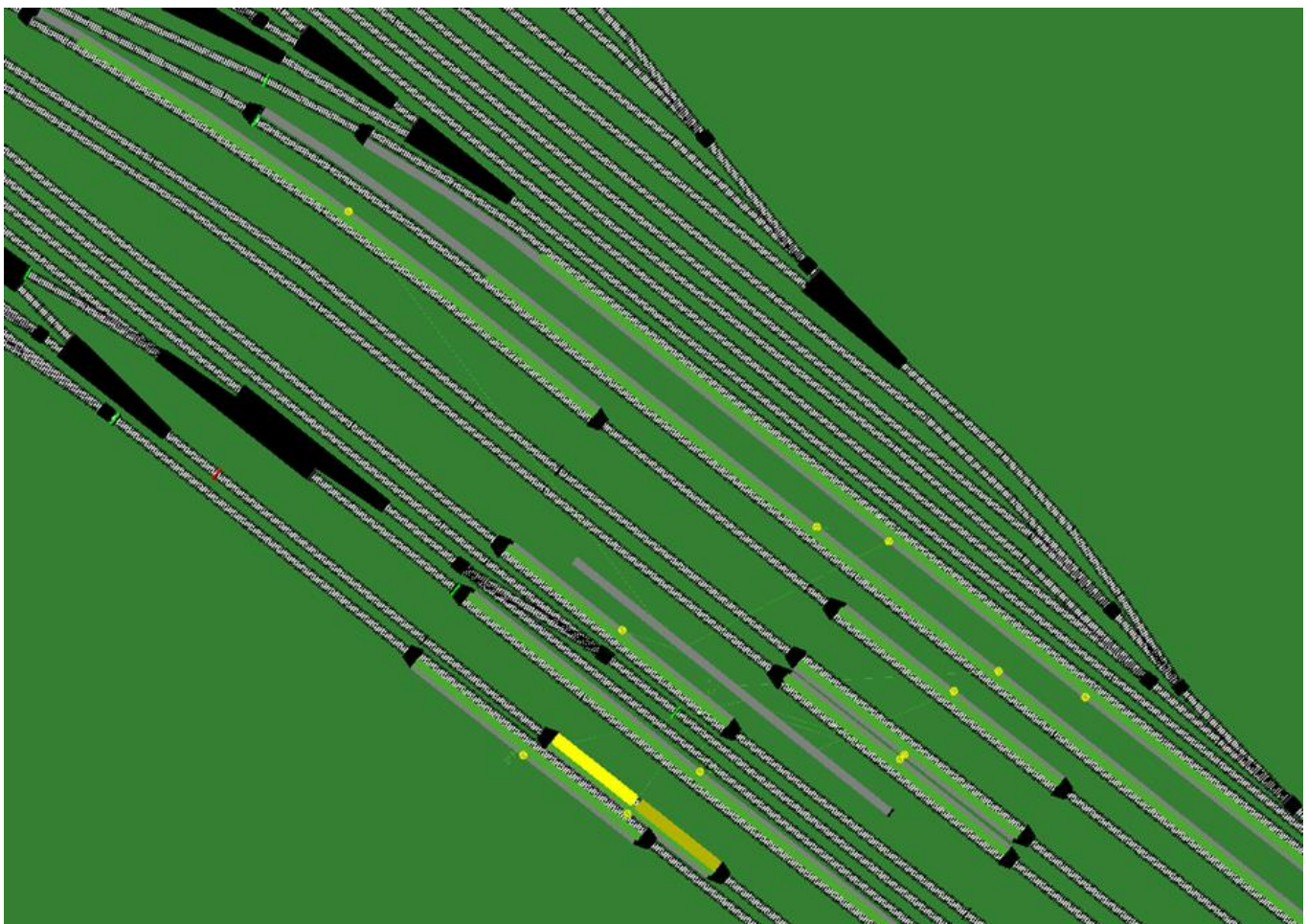


Abbildung 3: Ausschnitt aus dem Simulationsmodell des MS12.1: Bremen Hauptbahnhof in der "real world" Ansicht von SUMO (Quelle: DLR)

4.1.3. MS 13.1 Einflussfaktoren auf die Resilienz des Schienenverkehrs sind beschrieben

Resilienz ist ein Begriff, der die Widerstandsfähigkeit von Menschen, Städten, Ländern, Infrastrukturen und Systemen gegenüber von außen herbeigeführten Krisen jeglicher Art (Wetter, Klima, Cyber-Angriffe, etc)

beschreibt. Besonders im Hinblick auf die Witterungsextreme innerhalb des vergangenen Jahres (Bsp.: Stürme Xavier, Herwart und Friederike) ist Resilienz eine Eigenschaft, die für den Schienenverkehr von Bedeutung ist (siehe auch Abbildung 4). Da ein Störfallmanagement in den meisten Fällen lediglich auf vorhersehbare Störfälle vorbereitet ist, wird ein neuer Ansatz benötigt, welcher es Bahnsystemen ermöglicht, auch auf plötzliche Störfälle angemessen zu reagieren. Unter Berücksichtigung der allgemeinen Grundsätze des Resilienz-Ansatzes gilt für die Resilienz eines Bahnsystems folgende Definition²:

Ein Bahnsystem ist resilient, wenn es vorbereitet ist auf unerwartete Ereignisse mit außergewöhnlichen Auswirkungen. Es kann auf diese so reagieren, dass die Grundfunktionen des Systems aufrechterhalten werden können und findet nach einem zuvor definierten Zeitabschnitt wieder in den Ursprungszustand zurück.

Die Resilienz eines Bahnsystems lässt sich mit vier Resilienz Kriterien beschreiben. Dabei handelt es sich um Robustheit, Redundanzen: Reserven und Ressourcen, Ressourceneffektivität und Reaktionsschnelligkeit. Je stärker sich die Ausprägungen der Kriterien dem Bedarf einer Störungssituation nähern, desto resilienter ist das System. Die Darstellung und Beschreibung der jeweiligen Einflussfaktoren in Form von Indikatoren lässt eine Bewertung der Resilienz eines Bahnsystems möglich werden. Durch Schlüsselindikatoren (KPI = Key Performance Indicator) kann eine Einschätzung der systemeigenen Widerstandsfähigkeit oder ein Vergleich mit ähnlichen Bahnsystemen erfolgen. Die Zeit, in der das Bahnsystem ab Beginn der Störung wieder in seinen Ursprungszustand zurückfindet, ist solch ein KPI (siehe auch Abbildung 5).

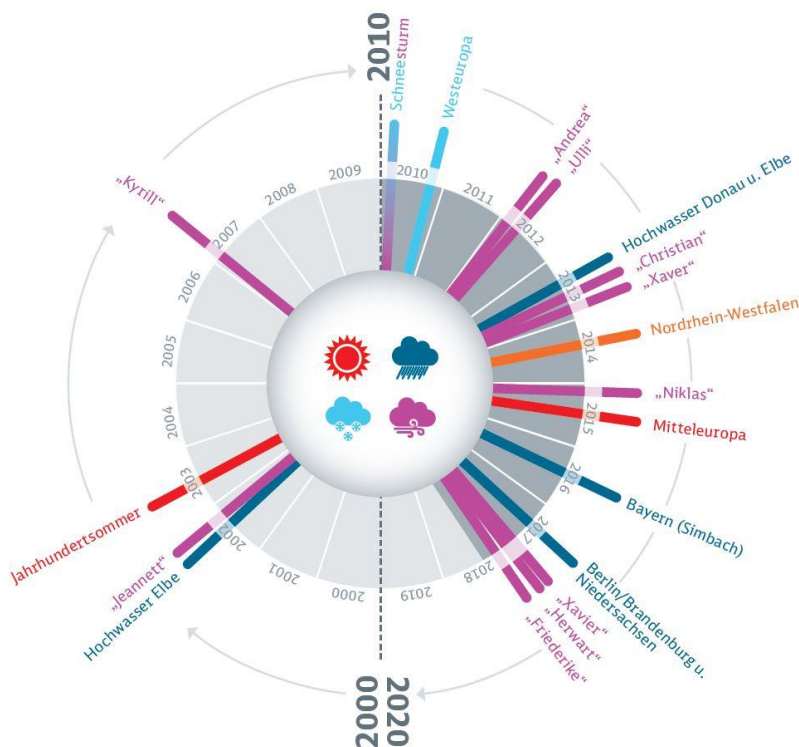


Abbildung 4: Auswirkungen des Klimawandels betreffen die Deutsche Bahn (Quelle: Deutsche Bahn³)

² Vgl. Grass, Evnika (2018) [Bewertung von Resilienz im Schienenverkehr](#). Masterarbeit, Ostfalia - Hochschule für angewandte Wissenschaften.

³ Auswirkungen des Klimawandels betreffen die Deutsche Bahn, https://www.deutschebahn.com/resource/blob/1312320/9c6378f4e89265703e4ee7eaa88eea9d/Download_infografik_klimastudie-data.pdf, Stand: 22.10.2018

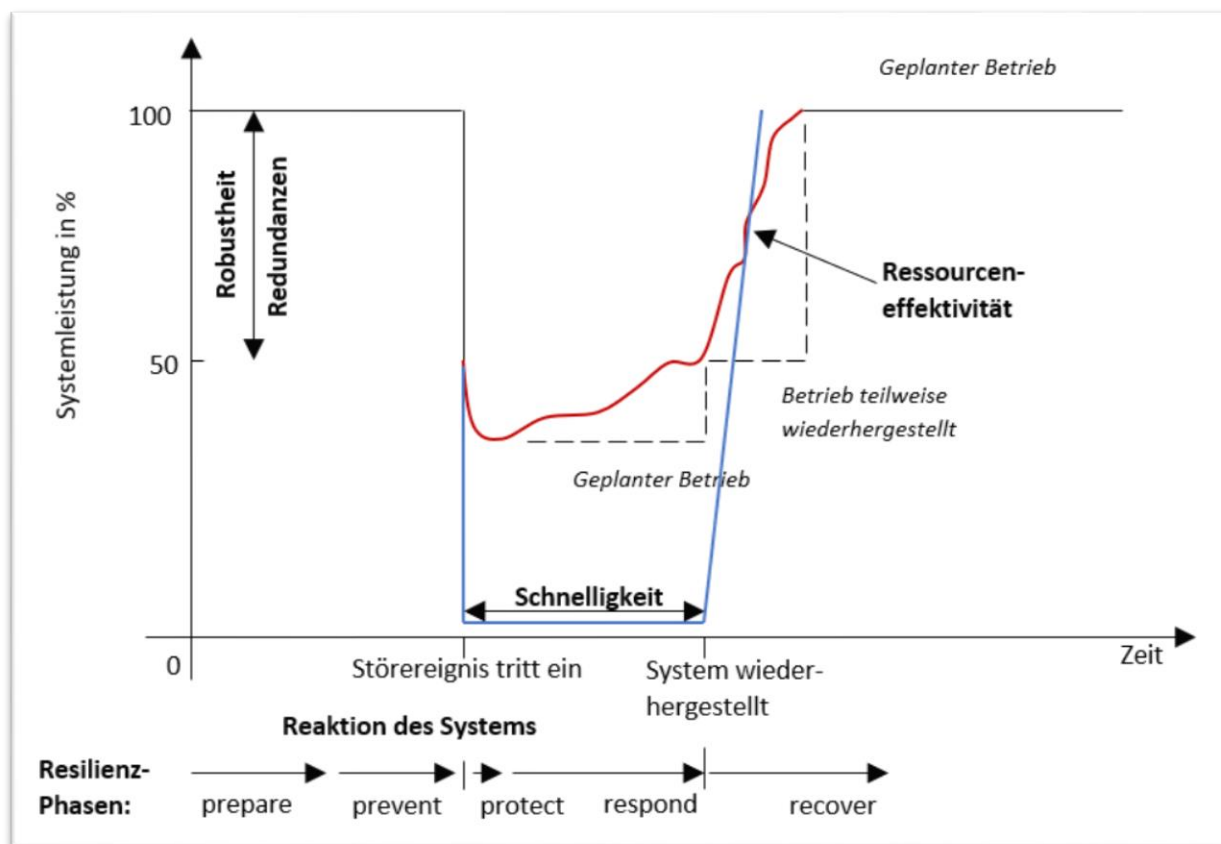


Abbildung 5: Auswirkungen von Störungen auf die Systemleistung und den Bahnbetrieb mit Bezug auf die Resilienzphasen (Quelle: DLR in Anlehnung an Dorbritz R., Weidmann, U.⁴)

⁴ Dorbritz, R.; Weidmann, U. (2012): Auswirkungen schwerer Störungen auf Bahnnetze, in: ZEVrail: Infrastruktur, Heft 6-7, (2012), S. 212-225

4.2. TP2000 – New Technology ETCS 4.0

Die Ausrichtung des Bahnsystems an sich ändernden Mobilitätsbedürfnissen unter Einbezug zukünftiger technologischer Entwicklungen liegt im Fokus des Teilprojekts New Technology.

4.2.1. MS 21.1 Technologische Anforderungen aus den Evolutions-Zukunftsszenarien

Im Arbeitspaket 2100, das den Meilenstein (MS21.1) erreicht hat, wird die Entwicklung möglicher Zukunftsszenarien behandelt. Anhand dieser wird das Einsatzpotential sogenannter intelligenter Bahnsysteme deutlich, die neben bahntypischen Anforderungen wie Verfügbarkeit, Sicherheit und Leistungsfähigkeit auch die Erfüllung zukünftiger Mobilitätsbedürfnisse sicherstellen müssen.

Dafür sind in einem ersten Schritt Zukunftstreiber bzw. -trends und Herausforderungen für zu-künftige Bahnsysteme unter Berücksichtigung unterschiedlicher Marktsegmente wie Regional- und Fernverkehr identifiziert worden. Die daraus entwickelten Szenarien zeigen einen konkreten Veränderungsbedarf auf, der sich in den Anforderungen an zukünftig einzusetzende Technologien widerspiegelt. Im Mittelpunkt steht dabei die Betrachtung von Leit- und Sicherungstechnik sowie Automatisierungssystemen, die die Grundlage für die Durchführung des Bahnbetriebs bilden und damit die Zukunfts- und Wettbewerbsfähigkeit des Verkehrssystems Schiene entscheidend beeinflussen. Die Abbildung der gesammelten Anforderungen auf zukünftige technologische Entwicklungen ist Bestandteil des Arbeitspakets 2300.

4.2.2. MS 22.1 Recherchebericht mit gewichteten relevanten technologischen Entwicklungen

Im Arbeitspaket (AP) 2200, das den Meilenstein (MS22.1) erreicht hat, werden Technologiefelder vorgestellt, die den Bahnverkehr der Zukunft entscheidend prägen können. Der Fokus liegt dabei auf Entwicklungen im Bereich der Automatisierung und Digitalisierung des Bahnsystems, die marktsegmentübergreifend aktuell einen großen Aufschwung erfahren. Folgende Technologiefelder, die voraussichtlich einen hohen Einfluss auf die zukünftigen Entwicklungen in der Branche Bahn nehmen werden, sind identifiziert worden:

- Big Data
- Smart Everything
- Ortung
- Hinderniserkennung
- Kommunikation
- Virtualisierung

Die Notwendigkeit der Nutzung dieser Technologien ist in diesem AP hinsichtlich der im vorherigen AP aufgestellten Basisfunktionalitäten bewertet worden.

4.2.3. MS23.1 Technologie-Konzepts und Konzept der Interaktion der technologischen Bausteine ist definiert

Im Arbeitspaket (AP) 2300, das den Meilenstein (MS23.1) erreicht hat, werden die in AP 2200 identifizierten, für den Bahnverkehr der Zukunft relevanten Technologien auf die Anforderungen der Szenarien aus AP 2100 abgebildet.

Hieraus werden Technologieszenarien generiert, die sowohl zum Setzen konkreter Forschungsschwerpunkte als auch zur Erarbeitung eines Demonstrators in AP 2400 genutzt werden. Ein Technologieszenario umfasst hierbei:

- ein Anwendungsszenario
- die Zielgrößen der Forschung
- eine Analyse zum weiteren Forschungsbedarf
- eine erste Ermittlung von technischen Anforderungen
- die Beschreibung einer möglichen Demonstrationsanlage

Die Relevanz der Technologieszenarien wird dabei fortlaufend bewertet und im Rahmen des AP 2400 um quantitative Aussagen zur Erreichung von Zielgrößen erweitert.

Mit dem Ergebnis dieses Arbeitspakets kann ein Wissensvorsprung des DLR in zukunftsweisenden Technologiefeldern, die noch nicht im Fokus der Verkehrsforschung liegen, geschaffen werden, der dem DLR eine Fortführung der richtungsweisenden Förderung eines konkurrenzfähigen Bahnbetriebs ermöglicht. Die definierten Technologieszenarien können als Machbarkeitsstudien dabei sowohl zur Akquisition von Folgeprojekten als auch zur Demonstration der Fähigkeiten des DLR auf Fachmessen genutzt werden.

4.2.4. MS 24.1 Konzept und Ergebnis Demo ausgewählter Szenarien, sowie Auswirkungen auf KPI sind ausgewertet

Im Rahmen dieses Meilensteines wurden verschiedene Zukunftsszenarien konzeptioniert, simuliert und bewertet. Hierfür werden verschiedene Kriterien wie die Auswirkung auf die benötigte Technik in der Infrastruktur, auf dem Rollmaterial sowie in einer Betriebs- und Stellzentrale analysiert. Zusätzlich erfolgte eine Abschätzung der Lebenszykluskosten dieser Szenarien im Vergleich. Abschließend erfolgte eine Bewertung hinsichtlich der betrieblichen Auswirkungen.

Mit Hilfe eines Bildschirmdemonstrators (auch als Exponat auf der InnoTrans 2018 präsentiert) können verschiedene Szenarien im Zuge der Automatisierung dargestellt, bewertet sowie unmittelbar miteinander auf Basis der folgenden vier Key Performance Indicators (KPI) verglichen werden:

- Leistungsfähigkeit (Anzahl an Zugfahrten)
- Fahrplanstabilität
- Lebenszykluskosten (LCC)
- Energiebedarf

Dargestellt werden beispielhaft drei Szenarien, jeweils im Regelbetrieb und im Störfall (siehe auch Abbildung 6):

- Szenario 1: konventioneller Bahnbetrieb (Signale, PZB, ggf. LZB, etc.)
- Szenario 2: teilautomatisierter Bahnbetrieb (Mischbetrieb / GoA 2)
- Szenario 3: automatisierter Bahnbetrieb (ohne Führerstand im Zug / ab GoA 3)

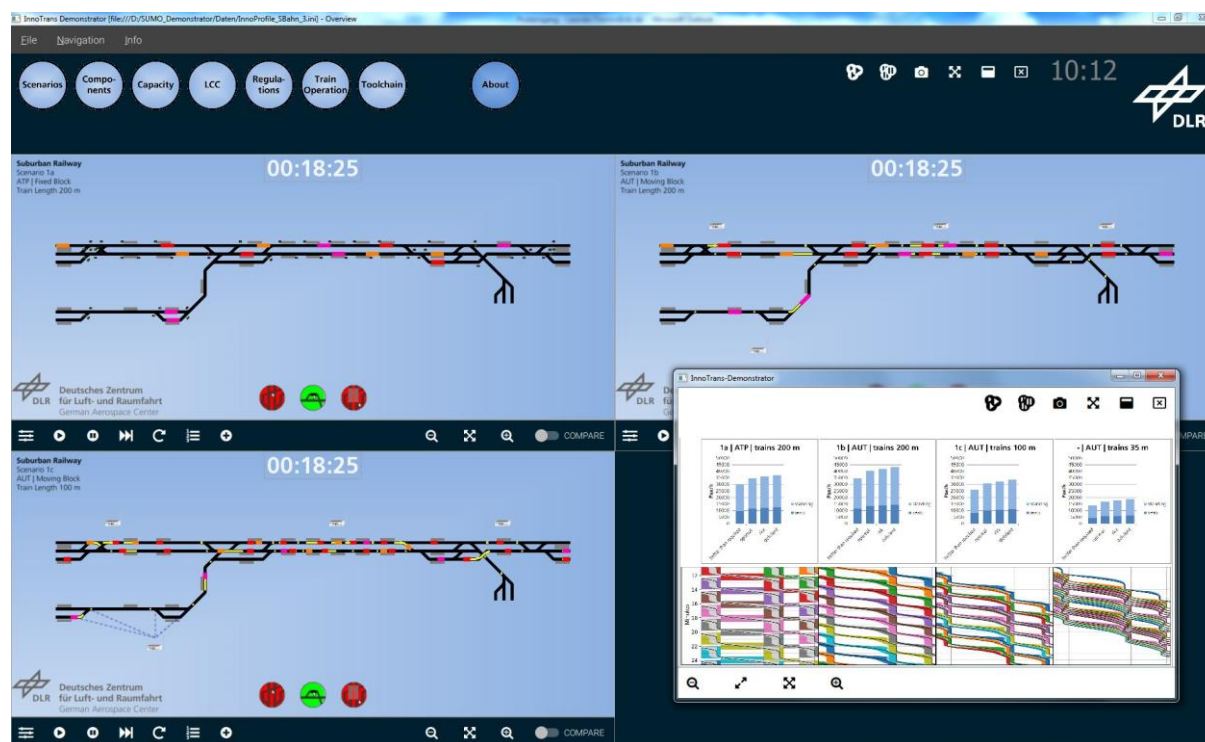


Abbildung 6: Oberfläche des Demonstrators (Quelle: DLR)

4.3. TP3000 – Cognitive Ergonomics

4.3.1. MS 31.1 Toolbox für die Erhebung von Situation Awareness ist erstellt

Situationsbewusstsein (SAw) bezeichnet den Zustand, sich seiner Umgebung zutreffend bewusst zu sein. SAw ist für Treibfahrzeugführer (Tf) und Fahrdienstleiter (Fdl) wichtig, damit sie in kritischen Situationen schnell und effizient handlungsfähig sind. In AP 3100 wurde eine Toolbox mit Methoden entwickelt, die geeignet zur Messung von SAw bei unterschiedlichen Tätigkeiten an verschiedenen Arbeitsplätzen der Bahn sind. Dabei wurden verschiedene psychologische Tests, Befragungsstrategien sowie physiologische Messmethoden in Betracht gezogen, aus denen für unterschiedliche Anwendungsfälle die passenden ausgewählt werden können.

Eine Methodenübersicht wurde zur einfachen Handhabung sowohl in Tabellenform als auch als Entscheidungsbaum zur Auswahl geeigneter Verfahren ausgearbeitet. Tabelle und Entscheidungsbaum liegen dem Bericht bei.

In der tabellarischen Übersicht sind die einzelnen Methoden mit Name, der Quelle der Veröffentlichung und einer kurzen Einordnung der Art der Methode dargestellt. Des Weiteren wird eine kurze Beschreibung der Anwendungsweise jeder Methode dargestellt, einhergehend mit der Güte des Skalenniveaus, das mit der jeweiligen Methode in den Ergebnissen erreicht werden kann sowie dem Anwendungsbereich, in dem die Methode das erste Mal eingesetzt wurde.

Im Entscheidungsbaum sind diese Informationen den jeweiligen Methoden zugeordneten Tabellen zu finden. Der Entscheidungsbaum wurde als anschauliche Art der Darstellung ergänzend erstellt. Er erlaubt, basierend auf schrittweisen Entscheidungen die sich aus dem Anwendungskontext und der Zielstellung ergeben, einfach zu einer Auswahl geeigneter Methoden zu gelangen.

4.3.2. MS 32.1 Maßnahmen zur Erhöhung der SAw und Gestaltungsempfehlungen für den Leitstellenarbeitsplatz sind erstellt

Der Fahrdienstleiter (Fdl) ist im Stellwerk für die sichere, pünktliche und reibungslose Abwicklung des Betriebs zuständig. Dafür ist ein hohes Situationsbewusstsein (Situation Awareness, SAw) des Fdl unabdingbar. SAw bezeichnet den Zustand, sich seiner Umgebung zutreffend bewusst zu sein. SAw ist dabei in drei Level eingeteilt. Level 1 beschreibt die Wahrnehmung wichtiger Informationen aus der Arbeitsumgebung. In Level 2 wird erfasst, ob die Bedeutung der wahrgenommenen Informationen von Bediener verstanden wurde. Die wahrgenommenen und verstandenen Informationen werden dann zu einer Vorhersage über die weitere Entwicklung des Systems zusammengefasst (Level 3). SAw ist für Fdl sowohl während der Tätigkeit im Regelbetrieb, aber auch für die Bewältigung von kritischen Situationen im Störfall unabdingbar, damit sie schnell und effizient handlungsfähig sind. Eine zentrale Frage ist daher erstens, wie SAw während der Tätigkeit im Regelfall unterstützt und aufrechterhalten werden kann. Zweitens stellt sich die Frage, wie der Fdl im Störfall kognitiv entlastet und unterstützt werden kann, um so den Aufbau und die Aufrechterhaltung von SAw zu erleichtern und die schnelle, sichere Störungsbearbeitung zu unterstützen. Im vorgestellten Arbeitspaket wurden daher aufbauend auf gezielten Untersuchungen der SAw von Fdl und der Störungsbearbeitung Gestaltungsmaßnahmen für den Bedienplatz des Fdl abgeleitet, die den Aufbau einer hohen SAw unterstützen sollen.

In einem ersten Schritt sollte die SAw von Fdl im Regelbetrieb und Störfall genauer untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden geeignete Erhebungsverfahren aus der Toolbox für die Erhebung der SAw (MS 31.1)

auf den Anwendungsfall beim Fdl in Deutschland angepasst^{5,6,7}. In einer Studie in einer hochrealistischen Simulation des Fdl-Arbeitsplatzes wurde die SAw der Fdl im Regel- und Störfall unter Anwendung der Erhebungsverfahren Situation Awareness Global Assessment Technique und Mission Awareness Rating Scale analysiert, insbesondere auch in Bezug auf Unterschiede zwischen Experten und Novizen.

Insgesamt lassen sich die folgenden Unterstützungsbedarfe aus der durchgeführten Simulatorstudie ableiten:

- Im Regelfall, ohne den Einsatz von Automatisierung, wird für die SAw besonders Unterstützung für die Vorhersage (Level 3) benötigt. Kommt im Regelfall Automatisierung zum Einsatz und der Fdl hat hauptsächlich eine überwachende Tätigkeit, so sollte bei Novizen ein besonderes Augenmerk auf die Unterstützung des Verständnisses (Level 2) gelegt werden.
- Der stärkste Bedarf an einer Unterstützung der SAw ließ sich für den Störfall identifizieren. Im Falle einer Störung ist eine Unterstützung der Vorhersage (Level 3) sowohl bei Experten als auch bei Novizen notwendig. Abschließend wurde deutlich, dass Experten, aber besonders Novizen Schwierigkeiten haben, ihre eigene SAw korrekt einzuschätzen. Hier ist eine Unterstützung, z.B. in Form von Schulungen, sinnvoll.

Da insbesondere in Bezug auf den Störfall Handlungsbedarf für die Unterstützung der SAw von Fdl identifiziert wurde, wurde eine genauere Analyse der Störungsbearbeitungsprozesse durch den Fdl vorgenommen. Als kognitiv beanspruchende Prozesse und Bedienhandlungen am Fahrdienstleiterarbeitsplatz während der Störungsbearbeitung, wurden vor allem zeitaufwendige Kommunikationsprozesse sowie der Aufwand bei der Weitergabe von Befehlen identifiziert^{8,9}. Hinzu kommen Schwierigkeiten bei der Lokalisation von Störungen und Streckensperrungen. In einer Integration der Ergebnisse aus der Simulatorstudie und der Störungsprozessanalyse wurden Maßnahmen zur Aufrechterhaltung und Erhöhung der SAw des Fdl im Regel- und Störfall abgeleitet, genauso wie Maßnahmen zur Optimierung des Störungsbearbeitungsprozesses. Im Rahmen der Optimierung der Störungsbearbeitung wurden einige der Maßnahmen als Entscheidungshilfen und Hilfen zur Diagnose der aktuellen Situation entwickelt.

Die Maßnahmen wurden im Weiteren ausführlich spezifiziert und bieten so einen idealen Ausgangspunkt für die Umsetzung in einem Prototyp des Bedienplatzes des Fdl. Mit den erarbeiteten Maßnahmen ist aufbauend auf dem DLR-Fahrdienstleiterbedienplatz-Konfigurator (FaBKon; gezeigt auf der InnoTrans 2014) eine weitere Überarbeitung des Fahrdienstleiterarbeitsplatzes erfolgt, deren Umsetzung die Benutzungsfreundlichkeit des Bedienplatzes deutlich erhöhen wird, Störungsbearbeitung schneller und

⁵ Vgl. Thomas-Friedrich, Birte und Grippenkov, Jan Daniel (2017) [*Application of the Theory of Situated Situation Awareness in the context of rail signalling*](#). Sixth International Human Factors Rail Conference, 6.-9. Nov. 2017, London, UK.

⁶ Vgl. Thomas-Friedrich, Birte und Grippenkov, Jan Daniel und Naumann, Anja (2018) [*Development of a Situation Awareness Assessment Tool for Rail Signalers*](#). In: AHFE 2018 International Conference on Human Factors in Transportation, Seiten 917-928. Springer.

⁷ Vgl. Thomas-Friedrich, Birte und Naumann, Anja und Grippenkov, Jan Daniel (2018) [*Situationsbewusstsein bei Fahrdienstleitern - Entwicklung von Methoden zur Erfassung im Elektronischen Stellwerk*](#). Der Eisenbahningenieur EI, Seiten 140-143.

⁸ Vgl. Thomas-Friedrich, Birte und Schneider, Philipp und Herholz, Heiko und Grippenkov, Jan Daniel (2017) [*Measuring Rail Signaller Workload in a highly realistic simulated environment*](#). In: Proceedings of the Sixth International Human Factors Rail Conference, Seiten 286-295.

⁹ Vgl. Brandenburger, Niels/ N.G. und Thomas- Friedrich, Birte und Naumann, Anja und Grippenkov, Jan (2018) [*Automation in Railway Operations: Effects on Signaller and Train Driver Workload*](#). In: Proceedings of the 3rd German Workshop on Rail Human Factors, Seiten 51-60. ITS Mobility.

einfacher werden lässt und so dem Bediener Zeit und Ressourcen freigibt, die zum Aufbau einer besseren SAw genutzt werden können¹⁰.

4.3.3. MS 32.2 Prototyp für den adaptiven Leitstellenarbeitsplatz ist fertiggestellt

Der Fahrdienstleiter (Fdl) ist im Stellwerk für die sichere, pünktliche und reibungslose Abwicklung des Betriebs zuständig. Dafür ist ein hohes Situationsbewusstsein (Situation Awareness, SAw) des Fdl im Regel- aber auch im Störbetrieb unabdingbar. SAw bezeichnet den Zustand, sich seiner Umgebung zutreffend bewusst zu sein. Eine zentrale Frage ist daher, wie die SAw während der Tätigkeit im Regelfall sowie im Störfall unterstützt und aufrechterhalten werden kann. Zu diesem Zweck wurden in MS 32.1 Gestaltungsmaßnahmen für den Bedienplatz des Fdl entwickelt, deren Wirksamkeit nun im Nutzertest mit Fdl untersucht werden soll.

Für den Nutzertest wurden zentrale Maßnahmen der vorgeschlagenen Maßnahmen ausgewählt und auf Basis des Fahrdienstleiterbedienplatz-Konfigurators (FaBKon) prototypisch umgesetzt. Der FaBKon wurde als Basis für die Untersuchung der neu entwickelten Maßnahmen gewählt, da die Bedienoberfläche des FaBKon mit einem Fokus auf die Nutzerbedürfnisse von Fdl entwickelt und die Benutzerfreundlichkeit im Projekt Next Generation Railway System II gezeigt wurde (siehe Abbildung 7). Die Integration der neu entwickelten Maßnahmen zur Steigerung der SAw und der Unterstützung im Störfall ergänzt so diese bereits vorhandenen Vorarbeiten ideal. Die Auswirkungen der Maßnahmen auf die SAw und die Arbeitsbeanspruchung von Fdl wurden mit einer Stichprobe von dreizehn Fdl untersucht. Dabei bearbeiteten die Teilnehmer sowohl Situationen im Regel- wie auch im Störbetrieb. Die klassische Bedienoberfläche des elektronischen Stellwerks (ESTW) wurde als Vergleich herangezogen. Zudem wurde eine Bewertung der Benutzerfreundlichkeit der Bedienoberfläche des FaBKon durch die teilnehmenden Fdl vorgenommen, ebenfalls im Vergleich zur Bedienoberfläche des ESTW.

Die Ergebnisse des Nutzertests zeigen, dass mit der Bedienoberfläche des FaBKon ein deutlich benutzerfreundlicheres System entwickelt wurde als es die Bedienoberfläche des ESTW darstellt. Es konnte gezeigt werden, wie neue unterstützende Funktionen am Arbeitsplatz des Fdl aussehen könnten, die diesen insbesondere im Störfall unterstützen. Die positive Bewertung der Benutzerfreundlichkeit zeigt, dass damit offensichtlich auch die Bedürfnisse der Fdl getroffen wurden. In Bezug auf SAw und Arbeitsbeanspruchung konnte gezeigt werden, dass mit der Bedienoberfläche des FaBKon über einen kurzen Trainingszeitraum vergleichbare Ergebnisse zur Bedienoberfläche des ESTW erreicht werden konnten. Bei einer längeren Arbeitsphase mit dem neuen System sind mit hoher Wahrscheinlichkeit bessere Ergebnisse für SAw und Arbeitsbeanspruchung als bei der Bedienoberfläche des ESTW zu erwarten. Insgesamt wurde das System zudem als gut erlernbar und benutzerfreundlich für Novizen beurteilt.

Mit der Weiterentwicklung der Bedienoberfläche des FaBKon ist damit zusammenfassend eine gute Darstellung neuer Bedienkonzepte und Ideen für den Arbeitsplatz des Fdl gelungen, die die Arbeit des Fdl sowohl im Regel- als auch Störbetrieb erleichtern können. Es konnte gezeigt werden, dass durch einen nutzerzentrierten Entwicklungsprozess die Benutzerfreundlichkeit eines Systems deutlich gesteigert werden kann.

¹⁰ Vgl. Thomas-Friedrich, Birte und Michaelsen, Raimo und Gripenkoven, Jan Daniel (2018) Optimizing Rail Signaler Disruption Management in the German Railway System. In: *Proceedings of the 3rd German Workshop on Rail Human Factors*, Seiten 77-86. 3rd German Workshop on Rail Human Factors, 17.-18. Apr. 2018, Braunschweig, Deutschland.



Abbildung 7: Bedienoberfläche des FaBKon (Quelle: DLR)

4.3.4. MS 33.1 Prototyp für eine Tf-Assistenz zur adäquaten Informationsintegration ist erstellt

Die Bahn befindet sich auf dem Weg hin zu immer stärker automatisierten Arbeitsplätzen sowohl in Bezug auf den Arbeitsplatz des Fahrdienstleiters (Fdl) als auch in Bezug auf den Arbeitsplatz des Triebfahrzeugführers (Tf). Der Fokus des AP 3300 liegt auf der Untersuchung des Situationsbewusstseins beim Tf unter besonderer Berücksichtigung der Wechsel zwischen Zugsicherungssystemen und der zunehmenden Automatisierung.

Im vorliegenden Meilenstein (MS 33.1) wurde zunächst der Einfluss des Wechsels zwischen Zugsicherungssystemen auf den Tf im Hinblick auf das Situationsbewusstsein des Tf untersucht. Dazu wurde eine Studie im Führerstandsimulator RailSET durchgeführt, die einen in Deutschland in den kommenden Jahrzehnten potentiell häufig vorkommenden Zugsicherungswechsel zwischen PZB (Punktförmige Zugbeeinflussung) und ETCS (European Train Control System) beinhaltet. Die Ergebnisse der Studie und weiterer Arbeiten im AP 3300 zeigen auf, an welchen Stellen Unterstützungsbedarf für den Tf hinsichtlich des Aufbaus von Situationsbewusstsein besteht.

Aus den Ergebnissen der Studie und zwei Expertenworkshops abgeleiteten Unterstützungsbedarf für den Tf wurde in einem zweiten Schritt ein erstes Konzept für eine mögliche Tf-Assistenz erstellt. Diese Assistenz soll die adäquate Informationsintegration und die Aufrechterhaltung bzw. Erhöhung des Situationsbewusstseins des Tf unterstützen. Grundlage hierfür ist die nutzerzentrierte Visualisierung von Informationen für den Tf, die sich in den Vorarbeiten als besonders relevant herauskristallisiert haben. Dies sind insbesondere Informationen bezüglich der Identität des Zuges (Zugnummer), des jeweils aktiven Zugsicherungssystems und bezüglich Abweichungen hinsichtlich der Auslastung und Pünktlichkeit des Zuges. Es wurden dafür zwei verschiedene Darstellungsvarianten, unterschiedliche Farbkodierungen für verschiedene Systemzustände und ein Vorschlag für die Einbettung in einen Tf-Arbeitsplatz entwickelt.

In einem nächsten Schritt wird dieses Konzept der Tf-Assistenz in einer Nutzerstudie evaluiert, um Gestaltungshinweise für eine Optimierung der Assistenz abzuleiten und das Konzept für den MS 33.3 zu finalisieren.

4.3.5. MS 33.2 Konzepte der Tf-Arbeitsplatzgestaltung für den hochautomatisierten Bahnverkehr sind erstellt

Die Bahn befindet sich auf dem Weg hin zu immer stärker automatisierten Arbeitsplätzen so-wohl in Bezug auf den Arbeitsplatz des Fahrdienstleiters (Fdl) als auch in Bezug auf den Arbeitsplatz des Triebfahrzeugführers (Tf). Der Fokus des AP 3300 liegt auf der Untersuchung des Situationsbewusstseins beim Tf unter besonderer Berücksichtigung der Wechsel zwischen Zugsicherungssystemen und der zunehmenden Automatisierung. Im vorliegenden Meilenstein (MS 33.2) soll der Tf-Arbeitsplatz im hochautomatisierten Bahnverkehr betrachtet werden.

Ziel ist dabei die Erstellung von Konzepten der Tf-Arbeitsplatzgestaltung für den hochautomatisierten Bahnverkehr. Ein im DLR-Projekt Next Generation Train (Funktionen des Bedieners im HGV) entwickelter initialer Ansatz für eine situative Fernsteuerung von automatisierten Zügen wurde im vorliegenden Arbeitspaket weiterentwickelt. Dieses Konzept beinhaltet die Verlagerung des Tf-Arbeitsplatzes aus dem Führerstand heraus in eine (Betriebs-)Zentrale. Es wird davon ausgegangen, dass ein sog. Train Operator (TO) die manuelle Steuerung eines im Regelfall automatisch fahrenden Zuges übernimmt, sobald dieser Zug einen Störfall meldet und nicht automatisch weiterfahren kann oder eine potentiell kritische Betriebssituation vorliegt.

Im vorliegenden Meilenstein wurde das initiale Konzept dieses TO-Arbeitsplatzes vertieft ausgearbeitet¹¹. In einem iterativen Designprozess wurden dabei: a) erste Gestaltungsentwürfe für den Arbeitsplatz in einem Expertenworkshop evaluiert, b) eine umfangreiche Analyse vorgenommen, welche Aufgaben des Tf in Zukunft jeweils die Automation oder ein Train Operator übernehmen kann/soll¹² und c) das Gestaltungskonzept überarbeitet und optimiert.

Grundsätzlich gibt es für den TO-Arbeitsplatz zwei Systemzustände. Entweder ist der TO momentan für keinen Zug zuständig und beobachtet kontinuierlich eine Übersicht über den Betrieb in dem ihm zugeordneten Streckenabschnitt. Oder der TO steuert einen bestimmten Zug und ist für die Sicherheit dieses Zuges verantwortlich. Auf dieser Grundlage wurden unterschiedliche Gestaltungen der Bedienoberfläche für diese zwei Systemzustände und die zwei Übergänge (manuelle Übernahme des Zuges und Rückgabe in die Automation) entwickelt.

Momentan wird das überarbeitete Gestaltungskonzept für den TO-Arbeitsplatz prototypisch umgesetzt. Ziel ist es, Leistung, Müdigkeit und Situationsbewusstsein von Tf in dieser neuen Arbeitsumgebung mit den entsprechenden Maßen zu vergleichen, die in einer traditionellen Führerstandsumgebung (im Führerstandsimulator RailSET) erhoben wurden. Aus den Ergebnissen können wiederum Hinweise für eine weitere Optimierung des Gestaltungskonzeptes für den TO-Arbeitsplatz in Folgeprojekten abgeleitet werden.

¹¹ Vgl. Brandenburger, Niels/ N.G. und Naumann, Anja (2018) [*Enabling automatic train operation through human problem solving*](#). SIGNAL + DRAHT, 3, Seiten 6-13. DVV Media Group.

¹² Vgl. Brandenburger, Niels und Naumann, Anja (2018) [*From in-cabin driving to remote interventions – Train driver tasks change with railway automation*](#). Poster at HFES Europe chapter annual meeting, <https://www.hfes-europe.org/posters-2018/>

4.3.6. MS 33.3 Prototyp für die Tf-Assistenz zur Erhöhung der SA und adäquaten Informationsintegration ist evaluiert und finalisiert

Die Bahn befindet sich auf dem Weg hin zu immer stärker automatisierten Arbeitsplätzen sowohl für den Fahrdienstleiter als auch für den Triebfahrzeugführer (Tf). Der Fokus des AP 3300 liegt auf der Untersuchung des Situationsbewusstseins beim Tf unter besonderer Berücksichtigung der Wechsel zwischen Zugsicherungssystemen und der zunehmenden Automatisierung.

Im Meilenstein 33.1 wurde aus den Ergebnissen einer Studie im Führerstandsimulator RailSET und eines Expertenworkshops aufgezeigt, an welchen Stellen Unterstützungsbedarf für den Tf hinsichtlich des Aufbaus von Situationsbewusstsein besteht. Darauf aufbauend wurde ein erstes Konzept für eine mögliche Tf-Assistenz erstellt (MS 33.1). Diese Assistenz soll die adäquate Informationsintegration und die Aufrechterhaltung bzw. Erhöhung des Situationsbewusstseins des Tf unterstützen. Grundlage hierfür ist die nutzerzentrierte Visualisierung von Informationen für den Tf, die sich in den Vorarbeiten als besonders relevant herauskristallisiert haben. Dies sind insbesondere Informationen bezüglich der Identität des Zuges (Zugnummer), des jeweils aktiven Zugsicherungssystems und bezüglich Abweichungen hinsichtlich der Auslastung und Pünktlichkeit des Zuges. Es wurden dafür zwei verschiedene Darstellungsvarianten, unterschiedliche Farbkodierungen für verschiedene Systemzustände und ein Vorschlag für die Einbettung in einen Tf-Arbeitsplatz entwickelt (MS 33.1).

Für den Meilenstein 33.3 wurden drei Evaluationsstudien durchgeführt. Zunächst wurde in Evaluationsstudie 1 (mittels der Experimentalsoftware E-Prime) mit „naiven“ Probanden ohne Bahn-Ausbildung untersucht, welche der beiden Darstellungsvarianten der Tf-Assistenz (Darstellung der Pünktlichkeit/ Verspätung horizontal und der Auslastung vertikal vs. Darstellung der Pünktlichkeit/ Verspätung vertikal und der Auslastung horizontal) verständlicher ist. Da sich die Darstellung der Pünktlichkeit/ Verspätung horizontal und der Auslastung vertikal als deutlich überlegen erwiesen hat, wurde sie für die weitere Evaluation und Weiterentwicklung ausgewählt. In Evaluationsstudie 2 (ebenfalls E-Prime) wurde mit erfahrenen Tf untersucht, ob die ausgewählte Assistenz einen Vorteil gegenüber der herkömmlichen Informationsdarstellung im Führerstand aufweist. Es konnte gezeigt werden, dass die Assistenz zur besseren und schnelleren Beantwortung von Fragen zur Aufgabe des Tf und aktuellen Betriebssituation und damit zu einem höheren Situationsbewusstsein führt. Auf Basis dieser positiven Ergebnisse wurde letztlich in Evaluationsstudie 3 die Tf-Assistenz im Führerstandsimulator RailSET implementiert und mit erfahrenen Tf auf ihre Wirkung auf das Situationsbewusstsein beim tatsächlichen Ausführen der Fahraufgabe überprüft (siehe auch Abbildung 8). Auch hier konnte ein positiver Einfluss der Assistenz festgestellt werden.

Die Evaluation der Tf-Assistenz zeigt in den vorgestellten Studien insgesamt sehr gute Ergebnisse im Hinblick auf ihre Wirksamkeit bezüglich der Erhöhung des Situationsbewusstseins. In einem weiteren Entwicklungsschritt der Assistenz auf dem Weg zu einer Implementierung im Führerstand oder in einem Fernsteuerungs-(Remote)-Arbeitsplatz sollte die Farbkodierung für die einzelnen Systemzustände und die dahinter liegende Semantik noch einmal genauer betrachtet und gegebenenfalls optimiert werden.



Abbildung 8: Im Führerstand der RailSET-Simulationsumgebung implementierte Tf-Assistenz (rot markiert)
(Quelle: DLR)

4.4. TP4000 – Certifiable Automated Verification

4.4.1. MS 41.1 Beispielmodelle eines LST-Systems für automatisierte Testableitung und für Systemtest sind erstellt

Modellbasiertes Testen (MBT) ist ein Schlagwort, hinter dem sich eine ganze Reihe von neueren Vorgehensweisen zum Testen meist softwarebasierter Systeme verbergen. Durch die Verwendung von Modellen, die vor allem zur Generierung von Testfällen verwendet werden, können Effizienz und Qualität gesteigert werden sowie Risiken im Entwicklungsprozess gesenkt werden. Andererseits gibt es vergleichsweise hohe initiale Hürden, modellbasiertes Testen in der Praxis umzusetzen: die Werkzeuge sind teils unausgereift, es muss Wissen und Erfahrung zu Modellierungssprachen und Werkzeugen aufgebaut werden, und der Aufwand verschiebt sich in frühe Entwicklungsphasen. Darüber hinaus muss für jedes Anwendungsgebiet mit seinen spezifischen Zielen und Anforderungen eine eigene, passende Vorgehensweise gefunden werden. An diesem Punkt setzt das Teilprojekt 4000 von NGRS III an: Ziel ist, solch eine Vorgehensweise für Systeme der Eisenbahn-Leit- und Sicherungstechnik (LST) zu entwickeln. Zur Erreichung des MS 41.1 war ein ausgewähltes System der Eisenbahn-Leit- und Sicherungstechnik zu modellieren. Als geeignetes LST-System wurde das Radio Block Center (RBC) ausgewählt, das im europäischen Zugsicherungssystem ETCS (Level 2) die Funkschnittstelle zwischen Stellwerk und Zug darstellt. Es ist gelungen, ein SysML-Modell des RBC inklusive des notwendigen Zusatzcodes zu erstellen, das

- die wichtigsten Funktionen eines RBC beherrscht,
- generisch bzgl. verschiedener Streckeninfrastrukturen und Übertragungstechniken gehalten ist,
- codegenerierungs- und ablauffähig ist,
- und in das RailSiTe®-Labor eingebunden und auf diese Weise validiert werden konnte.

Unter Nutzung des entstandenen Modells sollen zukünftig Verfahren zur Testfallgenerierung erprobt sowie der modellbasierte Ansatz für Systemtests im RailSiTe®-Labor genutzt werden.

In der Fachzeitschrift SIGNAL + DRAHT (108), Ausgabe 9/2016 konnte zur RBC-Modellierung eine Veröffentlichung platziert werden. Im ELIB des DLR ist der Volltext verfügbar. Die Laboreinbindung wurde auf dem Workshop „Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme“ (MBEES) 2018 vorgestellt und in den Proceedings publiziert.

4.4.2. MS 41.2 Modellierungsmethodik für generische Systeme ist definiert

Der Bericht zum MS 41.2 gibt einen Überblick über die vielzähligen Parameter und Zusammenhänge, die bei der Erstellung von Modellen von Systemen der Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik für die Generierung generischer Tests zu beachten sind. Sowohl Wissen über aktuelle Entwicklungen der LST als auch die bei der Modellierung des Radio Block Centers (vgl. MS 41.1) gesammelten Erfahrungen, als auch Recherchen zu Testfallgeneratoren sind dabei eingeflossen. Zentrale betrachtete Aspekte sind

- Ansätze zur Modellierung komplexer LST-Systeme;
- die Wahl des richtigen Abstraktionslevels des Modells;
- der Umgang mit der Generizität von LST-Systemen;
- Berücksichtigung von Anforderungen der Testfallgenerierung.

Auf dieser Grundlage wurde ein Vorgehen zur Erstellung eines adäquaten Modells (Modellierungsmethodik) abgesteckt.

Die Methodik bildet die Grundlage für das Vorgehen bei der anstehenden Testfallgenerierung (vgl. MS 42.1). Der nächste Schritt ist hierbei die Entscheidung für ein konkretes Werkzeug zur Testfallgenerierung; eine breite Recherche solcher Werkzeuge ist bereits erfolgt. Anschließend stehen die Einarbeitung in das Werkzeug, die Auswahl eines LST-Teilsystems sowie die Testfallgenerierung an. Ziel ist es, praktische Erfahrungen zu sammeln und einen Vergleich mit dem klassischen Testdesign zu erhalten. Nicht zuletzt wäre es ein großer Erfolg, die Machbarkeit der Generierung generischer Testfälle gemäß einem der im Bericht skizzierten Ansätze zeigen zu können. Schließlich soll der modellbasierte Ansatz für die geplanten Systemtests im RailSiTe®-Labor genutzt werden und den dortigen Formalisierungs- und Automatisierungsgrad beim Testen realer LST-Systeme erhöhen.

4.4.3. MS 42.1 Testfälle sind aus dem Modell eines generischen LST-Systems abgeleitet und die Reichweite von MBT ist beurteilt.

Beim modellbasierten Testen (MBT) muss für jedes Anwendungsgebiet mit seinen spezifischen Zielen und Anforderungen eine eigene, passende Vorgehensweise gefunden werden. Dies gilt auch für die Modellierung von Systemen der Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik (LST) zum Zweck der Testfallgenerierung. Kern des modellbasierten Testens ist die Erstellung eines Modells als Grundlage der Testfallgenerierung. Dazu wurde in den bisherigen Arbeiten eine grundsätzliche Modellierungsmethodik erarbeitet (vgl. MS 41.2). Die nun erfolgende Umsetzung umfasst die Schritte

- Wahl eines Testfallgenerierungswerkzeugs,
- Erstellung eines Modells einer speziellen Funktionalität des LST-Systems „Radio Block Center“ für die Testfallgenerierung, und
- Generierung der Testfälle aus dem Modell unter Nutzung des Werkzeugs.

Des Weiteren wird die Reichweite von MBT-Ansätzen (primär für Systeme der Eisenbahn-LST) beurteilt. Künftige Arbeiten zielen darauf ab zu zeigen, inwiefern der gewählte Testfallgenerierungsansatz sich auch auf andere Systeme mit größerem Umfang und vielfältigeren Konfigurationsoptionen effizient anwenden lässt. Zudem ist die Ausführung der Testfälle weitergehende Erkenntnisse über die Qualität der resultierenden Tests erwarten. Perspektivisch kann die automatisierte Testfallgenerierung zur nötigen Effizienz und Qualität bei der Erstellung von Standard-Testsuiten beitragen, die im Rahmen aktueller Standardisierungsbemühungen im Bahn- wie auch im Automotivebereich möglich werden.

4.4.4. MS 43.1 Systemtest ist demonstriert

In der Vergangenheit lag bei den funktionalen Tests im DLR-Labor RailSiTe® der Fokus sehr stark auf der Schnittstelle zwischen Zug und Infrastruktur, standardisiert nach dem Europäischen Zugsicherungssystem „European Train Control System“ (ETCS). In NGRS III werden nun auch weitere Systeme in den Test involviert. Als Beispiel dient der von der Deutschen Bahn getriebene Standard NeuPro (auch bekannt als Digitales Stellwerk (DSTW) oder in der europäischen Fortsetzung EULYNX).

Die Demonstration wurde im RailSiTe und auf der Test4Rail, einem vom DLR veranstalteten Symposiums zum Thema Testen im Eisenbahnbereich, ausgestellt. Die NeuPro bzw. EULYNX-Schnittstelle zwischen dem Stellwerkskern (durch die RailSiTe® Testumgebung simuliert) und dem Lichtsignal (in Form eines NeuPro bzw. EULYNX-fähigen Geschwindigkeitsanzeiger der Firma BBR) wurde hier unter den verschiedenen

Schnittstellen ausgewählt. Die Testmöglichkeiten solcher Schnittstellen und deren Zulassung werden im Sektor aktuell intensiv diskutiert.



Abbildung 9: BBR Geschwindigkeitsanzeiger an der DLR RailSiTe® Testumgebung (Quelle: DLR)

Mit den Demonstrationen konnte ein Proof-of-Concept erfolgreich abgeschlossen werden. Unterschiedliche Teilsysteme wurden mit unterschiedlichen Schnittstellen in eine Gesamtsimulation eingebunden und beispielhafte Tests konnten durchgeführt werden.

4.4.5. MS 43.2 Systemtest ist durchgeführt

Trotz der langen Entwicklungszyklen im Eisenbahnsystem schreitet die Digitalisierung der Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik (LST) rasch voran. Die stark begrenzten Möglichkeiten, neue Trassen zu bauen und der steigende Verkehrsbedarf, zwingen die Bahn- und Netzbetreiber zu einer Auslastungserhöhung des vorhandenen Netzes. Diese Auslastungserhöhung oder -optimierung wird zu großen Teilen durch eine leistungsfähigere LST erreicht. Es werden immer mehr Informationen zwischen Strecke und Zug ausgetauscht, so dass immer präzisere Berechnungen bzw. Planungen und damit bessere Auslastungen erreicht werden können. Die Kehrseite dieser hohen Informationsdichte ist, dass die Prüfung dieser Systeme zunehmend aufwändiger wird. Mit den vorhandenen und aktuell angewendeten Methoden ist eine detaillierte Prüfung von komplexen Softwaresystemen enorm aufwändig, teilweise nahezu unmöglich.

Für den MS 43.2 wurden Testfälle aus der Systemspezifikation des neuen Standards für digitale Stellwerke (DSTW, NeuPro, EULYNX) abgeleitet und erfolgreich auf der DLR-Testanlage zur Ausführung gebracht. Die gesamte Anordnung wurde in Kooperation mit dem Braunschweiger Signalbauunternehmen BBR auf der Fachmesse InnoTrans gezeigt. Dazu wurden die Stände von DLR und BBR miteinander vernetzt und der Prüfling (vollständiges Lichtsignal) durch die Laborumgebung auf dem DLR-Stand getestet. Zurzeit ist das DLR das weltweit einzige Prüflabor, welches die EULYNX Spezifikation unterstützt und testen kann. Neben wichtigen Erkenntnissen zur Testmethodik wurden auch Erfahrungen zur Testausführung aus früheren NGRS-Projekten (bspw. ETCS-Themen) übernommen und weiterentwickelt.

4.5. TP5000 – Prognostics and Health Management

4.5.1. MS 51.1 Hybrider Ansatz aus daten- und modellgetriebener Zustandsbeurteilung ist identifiziert und beschrieben

Übergeordnetes Ziel von Teilprojekt 5000 ist die Zustandsüberwachung von Elementen der Leit- und Sicherungstechnik basierend auf den Messdaten eingebetteter Sensoren. Im nun abgeschlossenen Arbeitspaket 5100 standen dabei die Detektion fehlerhafter Zustände und die dabei auftretenden Unsicherheiten im Mittelpunkt. Als konkrete Anwendungsbeispiele dienen Messdaten von Weichen (Stellstromkurven) und aus Stellwerken (Widerstand der Kabelanlage gegen Erde). In TP 5000 werden dabei vorausgegangene Arbeiten aus NGRS 2 und Drittmittelprojekten zielgerichtet weitergeführt. Außerdem sind die Arbeiten eng verknüpft mit der Beteiligung an den EU-Projekten In2Rail (H2020) sowie In2Smart (Shift2Rail). Im Rahmen dieser Drittmittelprojekte werden die für die Forschungsarbeiten in TP 5000 erforderlichen Daten und Informationen zur Weichenüberwachung durch einen Industriepartnerbereitgestellt. Die Zustandsbeurteilung komplexer technischer Systeme anhand rein datengetriebener Modelle (black box) stößt in der Praxis rasch auf Schwierigkeiten, insbesondere bei der Interpretation der Ergebnisse und deren Verwertung für die Zustandsdiagnose. Eine vollständige physikalische Simulation (white-box model) der erhobenen Messdaten wäre im Sinn der Diagnosefähigkeit und Interpretierbarkeit die ideale Lösung. Allerdings hat sich gezeigt, dass die untersuchten technischen Systeme (Weiche und Stellwerk) derart komplex sind, dass die Erstellung und Parametrisierung vollständiger physikalischer Modelle gegenwärtig und auf absehbare Zeit nicht möglich ist.

Für MS 51.1 wurde untersucht, wie die Zustandsbeurteilung dennoch durch eine Kombination aus modellgetriebener und datengetriebener Analyse verbessert werden kann. Ein solch hybrider Ansatz soll nachfolgend im nun begonnenen AP 5200 in Form eines Diagnosemodells für eine der beiden LST-Komponenten prototypisch umgesetzt werden (siehe MS 52.1). Aufgrund der deutlich besseren Datenlagen wird die prototypische Implementierung des hybriden Ansatzes zuerst für die Weiche umgesetzt werden.

Der für MS 51.1 herausgearbeitete hybride Ansatz setzt dabei an zwei Stellen an, um die bislang mit rein datengetriebenen Modellen erfolgende Zustandsbeurteilung weiter zu verbessern. Der Ansatz sieht zum einen vor, dass die für die datengetriebenen Ansätze erforderlichen Merkmale anhand eines funktionalen Modells der Gesamtanlage definiert werden. Dies unterscheidet sich vom üblichen heuristischen Ansatz der Merkmalsdefinition basierend auf den vorhandenen/dargebotenen Daten und dem Expertenwissen des Datenanalysten. Dadurch soll erreicht werden, dass von vornherein nur informationstragende, nicht redundante Merkmale definiert werden, vorhandenes technisches Expertenwissen auf systematische Weise in die datengetriebene Zustandsbeurteilung einfließt und ggfs. fehlende Daten erschlossen werden können. Der eindeutige Bezug zum funktionalen Modell ermöglicht darüber hinaus eine schnellere, direktere und damit zuverlässigere Ableitung von Diagnosen bei erkannten Unregelmäßigkeiten. Der zweite Ansatzpunkt ist, die für die datengetriebenen Ansätze notwendige Transformation (Normierung) der erhobenen Merkmale nicht wie üblich für jedes Merkmal individuell und rein statistisch sondern anhand von empirischen oder physikalischen (Teil-)Modellen vorzunehmen. Dadurch können systematische aber unkritische Variationen der Merkmale (z. B. aufgrund von Temperaturschwankungen) besser berücksichtigt werden. Dies verbessert die Erkennung kritischer Systemzustände, da diese in einem frühen Stadium häufig durch stärkere systematische, aber unkritische, Variationen maskiert werden.

4.5.2. MS 52.1 Diagnosemodell für Störungen einer LST-Komponente ist erstellt

Die Diagnose von Fehlerursachen in komplexen, technischen Systemen und die Entwicklung geeigneter Verfahren und Modelle gehört zu den zentralen Herausforderungen bei der Optimierung von Wartungs- und Instandhaltungsprozessen. Mittels eines exemplarischen, datenbasiert erzeugten deterministischen Entscheidungsbaums ist in diesem Zusammenhang (am Beispiel einer Eisenbahnweiche) ein erster Schritt in Richtung einer automatisierten Fehlerzustandsbestimmung erfolgt. Für eine detailliertere Diagnose ist jedoch davon auszugehen, dass letztlich komplexere Modellierungskonzepte benötigt werden. Die Theorie Bayes'scher Netze bildet hierzu einen hervorragenden Rahmen und wurde bereits in vielen Beispielen erfolgreich angewendet. Bayes'sche Netze sind darüber hinaus ideal geeignet, um den in der Literatur genannten Anforderungen an praxistaugliche Diagnosemodelle gerecht zu werden. Anders als z.B. neuronale Netze sind sie insbesondere inhaltlich im Detail sehr viel besser nachvollziehbar und interpretierbar, was die Akzeptanz bei Praktikern tendenziell erhöht. Ein weiteres Merkmal Bayes'scher Netze ist deren probabilistischer Charakter, wodurch sie prädestiniert sind zum Umgang mit systemimmanenten Unsicherheiten. Für die weitere Ausgestaltung eines umfassenden Diagnosemodells für Eisenbahnweichen stehen Datensätze von Industriepartnern zur Verfügung, die im weiteren Verlauf systematisch analysiert und mit sonstigen Erkenntnissen aus der Literatur zusammengeführt werden müssen. Hierauf aufbauend sind in direkter Zusammenarbeit mit den Experten aus der Instandhaltung in einem iterativen Prozess eine konkrete Graphenstruktur für das Bayes'sche Modell zu entwickeln und die erforderlichen Parameter zu schätzen. Langfristig ist – je nach Eignung – unter Verwendung des Konzepts dynamischer Bayes'scher Netze eine Erweiterung hin zu einem Prognosemodell denkbar und geplant.

4.5.3. MS 53.1 Verfahren für Zustandsprognose für eine der LST-Komponenten ist entwickelt

Detektion, Diagnose und Prognose von Störungen in komplexen, technischen Systemen sowie die Entwicklung entsprechender Verfahren und Modelle gehören zu den zentralen Herausforderungen bei der Optimierung von Wartungs- und Instandhaltungsprozessen. In Bezug auf den Anwendungsfall der Weiche liegt basierend auf den Ergebnissen dieses sowie früherer Meilensteine in NGRS III in Kombination mit den Aktivitäten inhaltsverwandter (Drittmittel-)Projekte inzwischen ein stimmiges Gesamtkonzept vor, welches verschiedene mathematische Konzepte (u.a. SPC, PCA, Bayes'sche Netze, Zeitreihenregression) sinnvoll kombiniert.

Die intensive Beschäftigung mit den verschiedenen Methoden hat dabei an vielen Stellen wichtige Erkenntnisse in Bezug auf Stärken und Schwächen der genannten Ansätze offenbart. Insbesondere im Zusammenhang mit dem auf der Theorie Bayes'scher Netze beruhenden Diagnosemodell wurden einige – auch theoretisch interessante – Fragestellungen (z. B. Umgang mit „Overconfidence“) identifiziert und teilweise bereits gelöst. Das Vorgehen, berechnete Features aus der Detektion in Form spezieller Feature-Knoten in das Diagnosemodell zu integrieren, stellt ferner eine natürliche Schnittstelle zwischen der Detektion und der Diagnose als Teilaufgaben des PHM (Prognostics and Health Management) dar. Für Fehlzustände, die zu systematischen Veränderungen von erfassten Feature-Werten führen, ist mittels zeitreihengestützter Prädiktion zukünftiger Feature-Werte eine Prognose von Fehlern und Fehlerursachen im System der Weiche möglich.

Das nunmehr vorliegende Konzept ist dafür im weiteren – auch in Zusammenarbeit mit Anlagenexperten außerhalb des DLR – im Detail weiter auszuarbeiten, sodass am Ende ein praxistauglicher Prototyp eines Diagnose- und Prognosemodells entsteht. Die hierzu noch zu lösenden Probleme und Detailfragen werden in verschiedenen laufenden und neuen Projekten angegangen. In weiteren Drittmittelprojekten (insbesondere Shift2Rail-Projekt In2Smart-2) ist geplant, einen Prototyp bei einem Industriepartner in operativer Umgebung hinsichtlich der Prognosequalität für relevante Fehlzustände und Fehlzustandskombinationen anhand von realen Messdaten zu untersuchen und zu bewerten.

Eine Patentanmeldung zum grundsätzlichen Aufbau und Verfahren des hier beschriebenen Diagnose- und Prognosemodells erfolgte im Januar 2019.

4.5.4. MS 54.1 Standardisierte Schnittstelle zum Empfang von großen Messdatenmengen sowie standardisierte Datenablagestruktur sind implementiert

Ziel des Meilensteines ist die Entwicklung einer standardisierten Schnittstelle für den Empfang von großen Datenmengen, sowie die Implementierung einer standardisierten Datenablagestruktur. Beide Ziele wurden erreicht.

Die Datenbank wurde erweitert um die Metadaten zu den Messeinheiten sowie Messungen zu speichern. Dafür wurde ein neuer Namensraum mit Tabellen definiert.

Die Datenablagestruktur sowie die Schnittstelle für die Übertragung von großen Datenmengen werden innerhalb von NGRS III TP 5000 für die Archivierung von Messdaten zur Überwachung von Weichen und Stellwerk-Kabelanlagen im Feld eingesetzt. Weiterhin kann die Servererweiterung für die automatische Übertragung der Achslager-Beschleunigungs-Messdaten in anderen Projekte eingesetzt werden.

5. Dissemination

5.1. Publikationen

In der elektronischen Literaturdatenbank des DLR sind 98 Veröffentlichungen eingetragen, die dem Projekt NGRS III zugeordnet sind ([Link](#)):

1. Scheier, Benedikt und Bussmann, Anja und Brinkmann, Florian und Wendland, Uwe (2015) [*Cost-Efficiency Analysis of a Satellite Based Train Control System in Germany: Project Results of the 3InSat Business Case for the German Scenario*](#). SIGNAL + DRAHT (107), Seiten 36-40. DVV Media Group. ISSN 0037-4997
2. Asbach, Lennart und Hungar, Hardi und Meyer zu Hörste, Michael (2016) [*Formal Based Tests for Conformity and Interoperability of Rail Systems*](#). In: Third International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance. Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK. Third International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance, 05.-08. Apr. 2016, Cagliari, Italien. DOI: [10.4203/ccp.110.246](#)
3. Behrens, Marc und Caspar, Mirko und Hungar, Hardi und Lemmer, Karsten (2016) [*Testen in der modellbasierten Entwicklung der ETCS-On-Board-Unit*](#). SIGNAL + DRAHT, 108 (7+8), Seiten 21-28. DVV Media Group. ISSN 0037-4997
4. Hungar, Hardi und Asbach, Lennart und Meyer zu Hörste, Michael (2016) [*Laborarchitekturen für den Test von Stellwerks-Schnittstellen*](#). In: EIK 2017 - Eisenbahn-Ingenieur Kompendium DVV Media Group. Seiten 316-329. ISBN 978-3-87154-572-6.
5. Böhm, Thomas und Lemmer, Karsten (2016) [*Stellstrombasierte Ausfallprognose bei Weichen – Beziehung zwischen statischen Eigenschaften und nicht normalverteilten Messwerten*](#). 50. Regelungstechnische Kolloquium Boppard, 17.-19. Feb. 2016, Boppard.
6. Böhm, Thomas und Lüddecke, Katrin und Lemmer, Karsten (2016) [*Infrastrukturbewirtschaftung im digitalen Zeitalter – Der lange Weg zur zustandsorientierten Instandhaltung*](#). 25. Verkehrswissenschaftliche Tage, 16.-17. Mär. 2016, Dresden, Deutschland.
7. Hungar, Hardi (2016) [*Verification and Validation in the Project openETCS*](#). Modellbasierte Entwicklung Eingebetteter Systeme MBEES2016, 31. Mär. - 01. Apr. 2016, Dagstuhl, Deutschland. (nicht veröffentlicht)
8. Lemmer, Karsten (2016) [*Fragen zukünftiger Mobilität*](#). Deutscher Mobilitätskongress, 18.-19. April 2016, Frankfurt am Main.
9. Böhm, Thomas und Lackhove, Christoph und Meyer zu Hörste, Michael (2016) [*Integrated Traffic Management using Data from Traffic, Asset Conditions, Energy and Emissions*](#). In: Handbook of Research on Emerging Innovations in Rail Transportation Engineering Advances in Civil and Industrial Engineering. IGI Global. Seiten 405-419. ISBN 9781522500841.
10. Böhm, Thomas und Schenkendorf, René und Lemmer, Karsten (2016) [*Statistical Process Control for Modern Switch Failure Detection*](#). In: Proceedings of the 11th World Congress on Railway Research, e1-e6. 11th World Congress on Railway Research, 29. Mai - 02. Jun. 2016, Mailand, Italien.
11. Asbach, Lennart und Hungar, Hardi und Meyer zu Hörste, Michael (2016) [*Automated Testing: Higher Efficiency and Improved Quality of Testing Command, Control and Signaling Systems by Automation*](#). In: Handbook of Research on Emerging Innovations in Rail Transportation Engineering Advances in Civil and Industrial Engineering (ACIE). IGI Global. Seiten 251-273. ISBN 1522500847.

12. Scheier, Benedikt und Bussmann, Anja und Brinkmann, Florian (2016) [Darstellungsverfahren zur integrierten Bewertung von Schieneninfrastruktur- und -verkehrsmaßnahmen.](#) Konferenz "Verkehrsökonomik und -politik", 02.-03. Juni 2016, Berlin.
13. Naumann, Anja und Grippenkov, Jan (2016) [Rail Human Factors: Nutzergerechte Gestaltung der Bahnarbeitsplätze der Zukunft.](#) Forschungskolloquium, 21.06.2016, TU Chemnitz, Institut für Psychologie.
14. Scheier, Benedikt und Bussmann, Anja und Brinkmann, Florian (2016) [Stakeholderbasierte Bewertung von Schieneninfrastruktur: Vorstellung des Darstellungsverfahrens und Anwendung auf eine geplante Schieneninfrastrukturmaßnahme.](#) Internationales Verkehrswesen, 68 (3), Seiten 22-25. Deutscher Verkehrs Verlag Media Group, Hamburg. ISSN 0020-9511
15. Schwencke, Daniel und Hungar, Hardi (2016) [Entwicklung von Referenzmodellen von LST-Komponenten am Beispiel der Streckenzentrale.](#) SIGNAL + DRAHT, 108 (9/2016), Seiten 24-32. DVV Media Group. ISSN 0037-4997
16. Thomas, Birte (2016) [Situationsbewusstsein bei Monitoringaufgaben.](#) Doktorandenworkshop FG Verkehrspsychologie 2016, 12.-14. Sep. 2016, Dortmund, Deutschland.
17. Lemmer, Karsten (2016) [Mobilität der Zukunft.](#) Gemeinsame Sitzung Fachverband Management + Marketing + FV-Unternehmensführung + -Steuerung III/2016, 27. Sept. 2016, Bremen.
18. Bussmann, Anja und Scheier, Benedikt und Brinkmann, Florian und Jäger, Bärbel (2016) [Cost Analysis of a Satellite Based ERTMS Applied on Real Lines of the German Network.](#) SIGNAL + DRAHT, Seiten 6-11. DVV Media Group. ISBN ISSN 0037-4997 ISSN 0037-4997
19. Wießner, Evamarie (2016) [Automatisierung im Bahnverkehr: Wird die Bahn den\(n\) Fahrer-los?](#) In: Next Generation Forum 2016. Next Generation Forum 2016, 26.-27. Okt. 2016, Köln, Deutschland.
20. Hanf, Maximilian Marius (2016) [Modellierung und sensitivitätsanalytische Untersuchung der Standardisierten Bewertung im ÖPNV auf Basis von System Dynamics.](#) Bachelorarbeit, Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft.
21. Dutschk, Beate (2016) [Zustandsüberwachung von Eisenbahnweichen.](#) In: Next Generation Forum 2016. Next Generation Forum 2016, 26.-27. Okt. 2016, Köln, Deutschland.
22. Brandenburger, Niels/ N.G. (2016) [Railway Simulators at the German Aerospace Center - Testing, Research and Development.](#) 1st European Rail Simulation Technology Forum, 21.-23.11.2016, Amsterdam, The Netherlands.
23. Mönsters, Michael und Johannes, Lars und Kluge, Andreas und Blank, Christian (2016) [Verbesserte Ankunftsprognose im Schienenverkehr.](#) EI - Der Eisenbahningenieur. Tetzlaff Verlag. ISSN 0013-2810
24. Thomas, Birte und Grippenkov, Jan (2016) [Situationsbewusstsein bei Fahrdienstleitern im ESTW.](#) Deine Bahn (11), Seiten 32-35. Bahn Fachverlag. ISSN 0948-7263
25. Gölfert, Leonore (2016) [Keine Energiewende ohne eine Verkehrswende.](#) Masterarbeit, Bauhaus-Universität Weimar.
26. Brinkmann, Florian und Scheier, Benedikt und Bussmann, Anja (2016) [Von der Kapitalwertmethode zur integrierten Bewertung.](#) 4. RAMS/LCC-Expertenforum "Zuverlässigkeit, Sicherheit und Kosteneffizienz gemeinsam gestalten", 03.-04. Nov. 2016, Dresden. (eingereichter Beitrag)
27. Lemmer, Karsten (2016) [Der Weg zum automatisierten Fahren im Straßenverkehr.](#) 16. Intern. SIGNAL+DRAHT-Kongress, 10.-11. Nov. 2016, Fulda.
28. Thomas, Birte (2016) [Rail Human Factors. Menschzentrierte Systemgestaltung im Bahnsektor.](#) [sonstige Veröffentlichung]

29. Schwencke, Daniel und Hungar, Hardi und Caspar, Mirko (2017) [Between Academics and Practice: Model-based Development of Generic Safety-Critical Systems.](#) In: Tagungsband des Dagstuhl-Workshops Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme XIII, Seiten 1-18. fortiss GmbH. Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme XIII, 15.-17. März 2017, Dagstuhl, Deutschland.
30. Viergutz, Kathrin Karola (2017) [Apps und Haltestellenanzeigen: Anforderungen von Fahrgästen an Fahrgastinformationen.](#) Kolloquium Verkehrsmanagement und Verkehrstelematik, 14. Juni 2017, Dresden.
31. Viergutz, Kathrin Karola (2017) [Dynamische Fahrgastinfos mit Echtzeitdaten - Welche Anforderungen haben Fahrgäste an Apps, Haltestellenanzeigen und Public Displays?](#) Der Nahverkehr. Alba Fachverlag. ISSN 0722-8287
32. Viergutz, Kathrin Karola (2017) [Wissen, wann Bus und Bahn kommen: Fahrgastinformationen als App und an Haltestellenanzeigen.](#) Eisenbahnwesen-Seminar, 10. Juli 2017, Berlin, Deutschland.
33. Gripenkoven, Jan Daniel (2017) [Wahrnehmung und Verhalten am Bahnübergang.](#) Deine Bahn, Seiten 10-15. Bahn Fachverlag. ISSN 0948-7263
34. Naumann, Anja und Gripenkoven, Jan Daniel und Brandenburger, Niels/ N.G. und Thomas, Birte (2017) [Rail Human Factors: DLR-Forschungsansätze zur Mensch-Maschine-Interaktion im Schienenverkehr.](#) Kolloquium des Fachgebiets Kognitionspsychologie und Kognitive Ergonomie, 08.02.2017, TU Berlin.
35. Dutschk, Beate und Groos, Jörn Christoffer und Hadzic, Edin und Böhm, Thomas (2017) [Deeper insight in railway switch condition nowcasting.](#) In: 1st World Congress on Condition Monitoring 2017, WCCM 2017. British Institute of Non-Destructive Testing. WCCM 2017 - 1st World Congress on Condition Monitoring, 13.-16. Jun. 2017, London. ISBN 978-090313264-8
36. Viergutz, Kathrin Karola und Brinkmann, Florian (2017) [Apps und Haltestellenanzeigen: Anforderungen von Nutzern flexibler öffentlicher Mobilitätskonzepte an digitale Fahrgastinformationen mit Echtzeitdaten.](#) 9. Wissenschaftsforum Mobilität 2017: „Mobility and Digital Transformation - Challenges and Future Paths“, 29.+30. Juni 2017, Duisburg.
37. Thomas, Birte und Gripenkoven, Jan Daniel und Michaelsen, Raimo (2017) [Bahnbetrieb im Serious Game: Innovative Ansätze für Forschung und Schulung.](#) EI - Der Eisenbahningenieur, Seiten 31-33. Tetzlaff Verlag. ISSN 0013-2810
38. Märtens, Jasper und Viergutz, Kathrin Karola (2017) [Analyse der Reisegeschwindigkeiten von Verkehrssystemen im urbanen Raum.](#) Masterarbeit, Technische Universität Berlin.
39. Sandvoß, Julian und Viergutz, Kathrin Karola (2017) [Anforderungsanalyse für ausgewählte Teilaspekte von Bedienkonzepten im ÖPNV: Wartezeit und Umsteigevorgänge.](#) Bachelorarbeit, Institut für Verkehrssystemtechnik.
40. Thomas-Friedrich, Birte und Gripenkoven, Jan Daniel (2017) [Application of the Theory of Situated Situation Awareness in the context of rail signalling.](#) Sixth International Human Factors Rail Conference, 6.-9. Nov. 2017, London, UK.
41. Thomas-Friedrich, Birte und Schneider, Philipp und Herholz, Heiko und Gripenkoven, Jan Daniel (2017) [Measuring Rail Signaller Workload in a highly realistic simulated environment.](#) In: Proceedings of the Sixth International Human Factors Rail Conference, Seiten 286-295. Sixth International Human Factors Rail Conference, 6.-9. Nov. 2017, London, UK.
42. Drescher, Anni (2017) [Bewertung von Untersuchungsmethoden zur Erfassung der mentalen Beanspruchung von Fahrdienstleitern im elektronischen Stellwerk \(ESTW\).](#) Masterarbeit.
43. Jäger, Bärbel (2017) [Wenn die Straße mit der Schiene spricht - Anwendungen der V2X Technologie im Bahnbereich.](#) Bahnwege Seminar, Magdeburg, Deutschland.

44. Schwencke, Daniel (2018) [Integrating a Signaling Component Model into a Railway Simulation.](#) In: Tagungsband - Dagstuhl-Workshop MBEES: Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme XIV, MBEES 2018, Seiten 87-98. Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme IX (MBEES 2018), 16.-18. Apr. 2018, Dagstuhl, Deutschland.
45. Thomas-Friedrich, Birte und Gripenkoven, Jan Daniel und Jipp, Meike (2018) [Anwendung der Theorie des situierten Situationsbewusstseins an digitalen Arbeitsplätzen am Beispiel des Fahrdienstleiters.](#) DGPs-Kongress, 15.-20. September 2018, Frankfurt, Deutschland.
46. Thomas-Friedrich, Birte und Gripenkoven, Jan Daniel und Naumann, Anja (2018) [Development of a Situation Awareness Assessment Tool for Rail Signalers.](#) In: AHFE 2018 International Conference on Human Factors in Transportation, Seiten 917-928. Springer. 9th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, 21. - 25. Jul. 2018, Orlando FL, USA.
47. Viergutz, Kathrin Karola (2018) [Quality of Service von Demand-Responsive Transport: Wie kann die Dienstleistungsqualität individuell abrufbarer Mobilitätskonzepte im öffentlichen Personennahverkehr bewertet werden?](#) In: Mobilität und digitale Transformation Springer Fachmedien Wiesbaden. (im Druck)
48. Viergutz, Kathrin Karola und Krajewicz, Daniel (2018) [Analysis of the Travel Time of Various Transportation Systems in Urban Context.](#) mobil.Tum 2018: International Scientific Conference on Mobility and Transport, 13.-14. Juni 2018, München.
49. Hainz, Svenja und Meyer zu Hörste, Michael und Brinkmann, Florian (2018) [Bewertungsmethodik für die Projektergebnisse im Joint Undertaking Shift2Rail.](#) SIGNAL + DRAHT, 1+2, Seiten 6-14. DVV Media Group. ISSN 0037-4997
50. Viergutz, Kathrin Karola und Brinkmann, Florian (2018) [Anforderungen von Nutzern flexibler öffentlicher Mobilitätskonzepte an digitale Fahrgastinformationen mit Echtzeitdaten.](#) Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN 978-3-658-20778-6.
51. Flamm, Leander und Meirich, Christian (2018) [Next Generation Railway System 3: New Technology MS23.1, Technologieszenarien des automatisierten Eisenbahnbetriebs.](#) DLR-Forschungsbericht. DLR, 36 S.
52. Meirich, Christian (2018) [Automatisierung Bahn: Auswirkungen auf den Triebfahrzeugführer und die Technik.](#) Beiratssitzung des Eisenbahningenieur (EI) und Eisenbahningenieur Kompendium (EIK), 26.01.2018, Braunschweig, Deutschland.
53. Meirich, Christian und Brandenburger, Niels (2018) [Automatisierung Bahn: Auswirkungen auf den Triebfahrzeugführer und die Technik.](#) VDI Arbeitskreis Bahn, 30.01.2018, Braunschweig, Deutschland.
54. Viergutz, Kathrin Karola und Scheier, Benedikt (2018) [Inter, Multi, Mono: Modalität im Personenverkehr - Eine Begriffsbestimmung.](#) Internationales Verkehrswesen (1/2018). Deutscher Verkehrs Verlag Media Group, Hamburg. ISSN 0020-9511 (im Druck)
55. Thomas-Friedrich, Birte (2018) [Rail Human Factors - Menschzentrierte Systemgestaltung im Bahnsektor.](#) [sonstige Veröffentlichung]
56. Viergutz, Kathrin Karola (2018) [Interaktiver Austausch zur Bewertung der Quality of Service und Diskussion zukünftiger Anforderungen an Ridesharing-Systeme.](#) Forum neue Mobilitätsformen, 28.02.2018, Wildau.
57. Viergutz, Kathrin Karola (2018) [Ist der Nahverkehr der Zukunft haltestellenlos? Individuell abrufbare Mobilitätskonzepte und deren Bedeutung für die Raumplanung.](#) Dortmunder Konferenz für Raumplanung 2018, 5.-6.02.2018, Dortmund.

58. Brandenburger, Niels/ N.G. und Naumann, Anja (2018) [Enabling automatic train operation through human problem solving](#). SIGNAL + DRAHT, 3, Seiten 6-13. DVV Media Group. ISSN 0037-4997
59. Gripenkoven, Jan und Rodd, Justin und Brandenburger, Niels (2018) [DLR-WAT: Ein Instrument zur Untersuchung des optimalen Beanspruchungsniveaus in hochautomatisierten Mensch-Maschine-Systemen](#). In: AAET Automatisiertes & Vernetztes Fahren, Seiten 199-213. AAET - Automatisiertes & Vernetztes Fahren, 14.-15. März 2018, Braunschweig. ISBN 978-3-937655-44-4
60. Narezo Guzman, Daniela und Groos, Jörn Christoffer (2018) [Statistical process control model for switch failure detection and maintenance effectiveness assessment](#). 1st European Railway Asset Management Symposium, 27.-28. March 2018, Nottingham, United Kingdom. (nicht veröffentlicht)
61. Neumann, Thorsten (2018) [Uncertainty Analysis in Railway Asset Management using the Point-Estimate-Method](#). 1st European Railway Asset Management Symposium, 27.-28. März 2018, Nottingham, England.
62. Brandenburger, Niels/ N.G. und Thomas- Friedrich, Birte und Naumann, Anja und Gripenkoven, Jan (2018) [Automation in Railway Operations: Effects on Signaller and Train Driver Workload](#). In: Proceedings of the 3rd German Workshop on Rail Human Factors, Seiten 51-60. ITS Mobility. 3rd German Workshop on Rail Human Factors, 17.-18.04.2018, Brunswick, Germany. ISBN 978-3-937655-45-1
63. Gripenkoven, Jan und Dreßler, Annika (2018) [SAFER-LC: Level Crossing Design Meets Traffic Psychology](#). In: Rail Human Factors Proceedings of the 3rd German Workshop on Rail Human Factors, Seiten 8-14. ITS mobility e.V.. 3rd German Workshop on Rail Human Factors, 17. Apr. - 18. Apr. 2018, Braunschweig, Germany. ISBN 978-3-937655-45-1
64. Milius, Birgit und Naumann, Anja (2018) [Rail Human Factors. Proceedings of the 3rd German Workshop on Rail Human Factors](#). ITS Nord. ISBN ISBN 978-3-937655-45-1.
65. Narezo Guzman, Daniela und Hadzic, Edin und Schuil, Robert und Baars, Eric und Groos, Jörn C. (2018) [Turning data driven condition now- and forecasting for railway switches into maintenance actions](#). In: Transport Research Arena 2018 Conference Proceedings. Transport Research Arena 2018, 16. - 19. April 2018, Vienna, Austria.
66. Thomas-Friedrich, Birte und Gripenkoven, Jan Daniel (2018) [Can the Theory of Situated Situation Awareness be applied in the context of rail signalling?](#) In: Proceedings of the 3rd German Workshop on Rail Human Factors, Seite 136. 3rd German Workshop on Rail Human Factors, 17.-18. April 2018, Braunschweig, Deutschland. ISBN 978-3-937655-45-1
67. Thomas-Friedrich, Birte und Michaelsen, Raimo und Gripenkoven, Jan Daniel (2018) [Optimizing Rail Signaler Disruption Management in the German Railway System](#). In: Proceedings of the 3rd German Workshop on Rail Human Factors, Seiten 77-86. 3rd German Workshop on Rail Human Factors, 17.-18. Apr. 2018, Braunschweig, Deutschland. ISBN 978-3-937655-45-1
68. Groos, Jörn Christoffer und Zhang, Xiang und Linder, Christian (2018) [ESTW-Kabelanlagen: Relevante Einflüsse auf den Isolationswiderstand](#). SIGNAL + DRAHT, 110 (5), Seiten 17-24. DVV Media Group. ISSN 0037-4997
69. Lehnert, Martin und Liebchen, Christian und Melzer, Klaus-Martin und Viergutz, Kathrin Karola (2018) [Ride-Sharing: Chancen und Regulierungskontext einer neuen Mobilitätsform](#). Der Nahverkehr. Alba Fachverlag. ISSN 0722-8287

70. Viergutz, Kathrin Karola (2018) [Walking, Waiting, Interchanging: A Scenario-Based Analysis of User Requirements in Local Public Transport.](#) Internationales Verkehrswesen, 70 (1), Seiten 42-46. Deutscher Verkehrs Verlag Media Group, Hamburg. ISSN 0020-9511
71. Naumann, Anja und Grippenkov, Jan Daniel und Brandenburger, Niels und Thomas-Friedrich, Birte (2018) [Rail Human Factors: Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen im Schienenverkehr.](#) Kolloquium Verkehrsmanagement und Verkehrstelematik, 09.05.2018, TU Dresden. (nicht veröffentlicht)
72. Viergutz, Kathrin Karola (2018) [Quality of Service von Demand-Responsive Transport: Wie kann die Dienstleistungsqualität individuell abrufbarer Mobilitätskonzepte im öffentlichen Personennahverkehr bewertet werden?](#) Wissenschaftsforum Mobilität 2018, 7. Juni 2018, Duisburg-Essen.
73. Flamm, Leander (2018) [Automatisierung Bahn: Auswirkungen auf den Triebfahrzeugführer und die Technik.](#) Kolloquium Verkehrsmanagement und Verkehrstelematik, Dresden, Deutschland.
74. Narezo Guzman, Daniela und Hadzic, Edin und Schuil, Robert und Baars, Eric und Groos, Jörn Christoffer (2018) [Data-driven condition now- and forecasting of railway switches for improvement in the quality of railway transportation.](#) Proceedings of the European Conference of the PHM Society. 4th European Conference of the Prognostics and Health Management (PHM) Society, 3.-6. July 2018, Utrecht, the Netherlands.
75. Schmidt, Clemens und Viergutz, Kathrin Karola (2018) [Analyse und Bewertung von Demand Responsive Transportation \(DRT\) und traditionellem Buslinienangebot: Eine Multi-Agenten Fallstudie über die ländlich geprägte sächsische Kleinstadt Colditz.](#) Masterarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
76. Viergutz, Kathrin Karola und Brinkmann, Florian (2018) [Ridepooling: ein Erfolgsmodell? Digitalisierung im Nahverkehr. Ridepooling: a model for success? Digitalization in local public Transport.](#) SIGNAL + DRAHT. DVV Media Group. ISSN 0037-4997
77. Caspar, Mirko und Schwencke, Daniel und Hungar, Hardi (2018) [Effizientes Testen modularer und standardisierter Stellwerkskomponenten.](#) SIGNAL + DRAHT, Seiten 30-39. DVV Media Group. ISSN 0037-4997
78. Thomas-Friedrich, Birte und Naumann, Anja und Grippenkov, Jan Daniel (2018) [Situationsbewusstsein bei Fahrdienstleitern - Entwicklung von Methoden zur Erfassung im Elektronischen Stellwerk.](#) Der Eisenbahningenieur EI, Seiten 140-143. Tetzlaff Verlag. ISSN 0013-2810
79. Naumann, Anja und Thomas-Friedrich, Birte und Brandenburger, Niels und Grippenkov, Jan Daniel (2018) [Human Factors in Railway Digitalisation and Automation.](#) Elsevier. International Conference on Railway Technology, 03.-07. Sept. 2018, Barcelona, Spanien.
80. Brandenburger, Niels und Naumann, Anja (2018) [From in- cabin driving to remote interventions – Train driver tasks change with railway automation.](#) Poster at HFES Europe chapter annual meeting, <https://www.hfes-europe.org/posters-2018/>, 8.-10. Okt. 2018, Berlin.
81. Hainz, Svenja und Meyer zu Hörste, Michael und Kristoffersson, Ida und Vannier, Elodie (2018) [Passenger demand in a technical world.](#) Symposium on Rail Transport Demand Management 2018, 24.-25.10.2018, Darmstadt, Germany.
82. Naumann, Anja und Thomas-Friedrich, Birte und Brandenburger, Niels und Grippenkov, Jan Daniel (2018) [Der Faktor Mensch im Kontext der Automatisierung des Bahnsystems: Prävention kritischer Ereignisse durch eine nutzerzentrierte Arbeitsplatzgestaltung.](#) EI - Der Eisenbahningenieur (10/18), Seiten 50-53. Tetzlaff Verlag. ISSN 0013-2810

83. Hauck, Roman (2018) [Entwicklung eines Simulationsmodells zur Bewertung der Betriebsqualität - Key Performance Indicators aus Sicht der Reisenden.](#) Bachelorarbeit, Ostfalia - Hochschule für angewandte Wissenschaften.
84. Meirich, Christian und Flamm, Leander (2018) [Impact of passenger assistance systems on the performance of urban rail networks.](#) Rail Transport Demand Management RTDM 2018, 24.-25. Okt. 2018, Darmstadt, Germany.
85. Narezo Guzman, Daniela und Neumann, Thorsten und Groos, Jörn Christoffer (2018) [Kontinuierliche Überwachung der LST mit eingebetteten Sensoren.](#) Der Eisenbahningenieur EI, Seiten 6-11. Tetzlaff Verlag. ISSN 0013-2810
86. Wießner, Evamarie und Erdmann, Jakob und Flamm, Leander und Jäger, Bärbel (2018) [Auf Straße und Schiene mobil – intermodale Verkehrssimulation mit SUMO.](#) SIGNAL + DRAHT, 110 (11), Seiten 49-55. DVV Media Group. ISBN ISSN 0037-4997 ISSN 0037-4997
87. Jäger, Bärbel und Meirich, Christian (2018) [Bahnautomatisierung aus verschiedenen Blickwinkeln.](#) VDI Arbeitskreis Bahn, 06.11.2018, Braunschweig, Deutschland.
88. Linder, Christian und Heusel, Judith (2018) [Datennutzung von Isolationsüberwachungsgeräten im Bahnbereich.](#) Arbeitsausschuss Elektrobahnen und –fahrzeuge, 8. Nov. 2018, Grünberg, Deutschland. (nicht veröffentlicht)
89. Grass, Evnika (2018) [Bewertung von Resilienz im Schienenverkehr.](#) Masterarbeit, Ostfalia - Hochschule für angewandte Wissenschaften.
90. Schmidt, Clemens und Viergutz, Kathrin Karola (2018) [Analyse und Bewertung von Demand Responsive Transportation und traditionellem Buslinienangebot: Eine Multi-Agenten Fallstudie über die ländlich geprägte sächsische Kleinstadt Colditz.](#) 14. ViMOS-Symposium, 29.-30.11.2018, Dresden.
91. Mönsters, Michael und Meyer zu Hörste, Michael und Meirich, Christian und Henning, Arne (2018) [Integrierte Bewertung am Beispiel von Lärmschutzmaßnahmen im Schienengüterverkehr.](#) Deine Bahn, 46 (12). Bahn Fachverlag. ISSN 0948-7263 (eingereichter Beitrag)
92. Scheier, Benedikt und Meirich, Christian und Dittus, Holger und Böhm, Mathias (2018) [Stand der Technik von Antriebskonzepten für Rangier- und Streckenlokomotiven.](#) ETR - Eisenbahntechnische Rundschau (12), Seiten 51-56. DVV Media Group. ISSN 0013-2845
93. Thomas-Friedrich, Birte (2018) [Human Factors in Verkehrssystemen - Menschzentrierte Systemgestaltung bei Bahn und ÖPNV.](#) [sonstige Veröffentlichung]
94. Viergutz, Kathrin Karola und Krajzewicz, Daniel (2019) [Analysis of the Travel Time of Various Transportation Systems in Urban Context.](#) Transportation Research Procedia. Elsevier. ISSN 2352-1457 (im Druck)
95. Flamm, Leander und Meirich, Christian und Meyer zu Hörste, Michael und Hagemeyer, Friedrich und Preuss, Malte (2019) [Regulatorischer Anpassungsbedarf für das automatische Fahren im Bahnbetrieb.](#) In: Eisenbahn Ingenieur Kompendium (EIK) EIK - EISENBAHN INGENIEUR KOMPENDIUM, 2019. Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure e.V. - VDEI Hamburg: DVV Media Group. Seiten 110-131. ISBN 978-3-87154-624-2.
96. Neumann, Thorsten und Schenkendorf, René und Dutschk, Beate (2019) [Analyzing uncertainties in model response using the point estimate method: applications from railway asset management.](#) Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability, 8 (15). DOI: [10.1177/1748006X19825593](#) ISSN 1748-006X
97. Gatto von der Heyde, Camilla (2019) [Qualitative Analyse von kritischen Ereignissen im Schienenverkehr aus Human-Factors-Perspektive.](#) Bachelorarbeit, International School of Management (ISM).

98. Flamm, Leander und Meirich, Christian und Jäger, Bärbel (2019) *Die Umsetzung des automatisierten Bahnbetriebs zwischen Technik, Regelwerken und Wirtschaftlichkeit.* ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, 68 (03), Seiten 27-31. DVV Media Group. ISSN 0013-2845

5.2. Internetauftritt

Auf der Internetseite der Verkehrsforschung des DLR ist das Projekt NGRS vertreten ([Link](#)):

<https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/next-generation-railway-system>

6. Kontakt

[Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.](#)
[Institut für Verkehrssystemtechnik](#)

Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig
Tel.: +49 531 295-3401

DLR.de

Projektleiter und Teilprojekt 1000 – Operational Quality and Services

Benedikt Scheier M.Sc.
Tel.: +49 531 295-3428
Email: benedikt.scheier@dlr.de

Teilprojekt 2000 – New Technology ETCS 4.0

Dr.-Ing. Christian Meirich
Tel.: +49 531 295-3824
Email: christian.meirich@dlr.de

Teilprojekt 3000 – Cognitive Ergonomics

Dr. Anja Naumann
Tel.: +49 30 67055 251
Email: anja.naumann@dlr.de

Teilprojekt 4000 – Certifiable Automated Verification

Dr. Daniel Schwencke
Tel.: +49 531 295-3416
Email: daniel.schwencke@dlr.de

Teilprojekt 5000 – Prognostics and Health Management

Dr. Jörn Groos
Tel.: +49 531 295-3402
Email: joern.groos@dlr.de

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DSTW	Digitales Stellwerk
ELIB	Elektronische Literaturdatenbank des DLR
ETCS	European Train Control System
EULYNX	European initiative by 12 Infrastructure Managers to standardise interfaces and elements of the signalling systems
FdI	Fahrdienstleiter
GoA	Grade of Automation
HGV	Hochgeschwindigkeitsverkehr
KPI	Key Performance Indicator (dt. Schlüsselindikatoren)
LCC	Life Cycle Costing (dt. Lebenszykluskosten)
LST	Leit- und Sicherungstechnik
LZB	Linienzugbeeinflussung
MBEES	Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme
MBT	Modellbasiertes Testen
NGRS	Next Generation Railway System (DLR-Projekt)
NGT	Next Generation Tran (DLR-Projekt)
PCA	Principal component analysis
PHM	Prognostics and health management
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
Railonomics®	Werkzeugkette zur Wirkungsermittlung und (Wirtschaftlichkeits-) Bewertung von Eisenbahninfrastruktur und –betrieb (DLR-Tool)
RailSET®	Railway Simulation Environment of Train driver and operators (DLR Labor)
RailSiTe®	Railway Simulation and Testing (DLR Labor)
SA / Saw	Situation Awareness
SPC	Statistical process control
SUMO	Simulation of Urban Mobility (Open Source Software des DLR für mikroskopische intermodale Verkehrsflusssimulationen)
SysML	Systems Modeling Language
Tf	Triebfahrzeugführer
TO	Train Operator
TS	Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR
MS / MST	Meilenstein

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektstruktur (Teilprojekte und Arbeitspakete) (Quelle: DLR).....	5
Abbildung 2: Darstellung der bewerteten Varianten im DLR-Tool Railonomics®-Infra (Quelle: DLR).....	8
Abbildung 3: Ausschnitt aus dem Simulationsmodell des MS12.1: Bremen Hauptbahnhof in der "real world" Ansicht von SUMO (Quelle: DLR)	9
Abbildung 4: Auswirkungen des Klimawandels betreffen die Deutsche Bahn (Quelle: Deutsche Bahn).....	10
Abbildung 5: Auswirkungen von Störungen auf die Systemleistung und den Bahnbetrieb mit Bezug auf die Resilienzphasen (Quelle: DLR in Anlehnung an Dorbritz R., Weidmann, U.)	11
Abbildung 6: Oberfläche des Demonstrators (Quelle: DLR)	14
Abbildung 7: Bedienoberfläche des FaBKon (Quelle: DLR)	18
Abbildung 8: Im Führerstand der RailSET-Simulationsumgebung implementierte Tf-Assistenz (rot markiert) (Quelle: DLR)	21
Abbildung 9: BBR Geschwindigkeitsanzeiger an der DLR RailSiTe® Testumgebung (Quelle: DLR)	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung der Ergebnisse zu den Zielen (Quelle: DLR).....	4
Tabelle 2: Meilensteinübersicht (Quelle: DLR)	6